

# **Ensaio de Espécies Arbustivas da Flora Portuguesa para Intervenções de Engenharia Natural**

**Francisco Manuel Chagas Correia**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Arquitectura Paisagista**

Orientador: Francisco Manuel Cardoso de Castro Rego

Coorientador: Carlo Bifulco

## **Júri:**

Presidente: Doutor José Carlos Augusta da Costa, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor Francisco Manuel Cardoso de Castro Rego, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa,

Doutora Ana Luísa Brito dos Santos Sousa Soares Ló de Almeida, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa,

Licenciado Nuno Joaquim Cara de Anjo Lecoq, Assistente Convidado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, na qualidade de especialista,

Licenciado Carlo Bifulco, investigador no Centro de Ecologia Aplicada Professor Baeta Neves, na qualidade de especialista.

## **Agradecimentos**

Aos meus orientadores Professor Doutor Francisco Castro Rego e Engenheiro Carlo Bifulco, pela enorme disponibilidade, crítica e orientação, durante toda a realização deste trabalho.

Aos meus pais, pela sua disponibilidade e ajuda incondicionais.

À Inês, pelo seu singular apoio e incentivo.

À Rosa e ao António, pelas suas pertinentes revisões e sugestões.

E ainda, aos meus colegas de curso, com quem partilhei inúmeras e, sobretudo, agradáveis experiências que precederam o culminar desta etapa académica.

Devo a todos este trabalho.

## Resumo

Apresentam-se os resultados sobre a capacidade de propagação vegetativa de *Coronilla glauca* L., *Daphne gnidium* L., *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter, *Myrtus communis* L., *Phillyrea angustifolia* L., espécies da flora portuguesa, e as suas características biotécnicas com vista à avaliação da sua aptidão em intervenções de engenharia natural (EN), especialmente em zonas não adjacentes a linhas de água.

Estas espécies foram seleccionadas de um grupo de plantas candidatas, consideradas como provavelmente adequadas às obras de EN, pelo que necessitam que seja testada essa sua adequação. A escolha das espécies candidatas foi feita com base nos seguintes critérios: referências sobre a sua capacidade de propagação vegetativa, ampla distribuição geográfica e adaptabilidade ao local de intervenção.

Os testes foram realizados a partir de estacas recolhidas de plantas mãe na região de Lisboa e instaladas na Tapada da Ajuda (Centro de Ecologia Aplicada "Prof. Baeta Neves", Instituto Superior de Agronomia, CEABN - ISA), Lisboa. Após 3 meses, os resultados do delineamento experimental foram analisados quanto ao desenvolvimento radical, com recurso ao *software* GiA Roots, para assim avaliar as suas características biotécnicas.

Por conseguirem aliar boas características biotécnicas e capacidade de reprodução vegetativa, podemos concluir que a *Coronilla glauca*, a *Dittrichia viscosa* e a *Myrtus communis* são espécies indicadas para utilização em intervenções de engenharia natural.

Os resultados obtidos com este estudo permitem disponibilizar novos materiais construtivos - vivos - para obras de EN em Portugal continental, contribuindo estas espécies para a aceleração da estabilização do solo em zonas particularmente sensíveis à erosão e onde o uso de espécies ripícolas pode ser uma escolha não adequada.

**Palavras-chave:** engenharia natural, estabilização do solo, propagação vegetativa, características biotécnicas, análise radical, flora portuguesa.

## Abstract

We present the results on the ability for vegetative propagation of *Coronilla glauca* L., *Daphne gnidium* L., *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter, *Myrtus communis* L., *Phillyrea angustifolia* L., species from the Portuguese flora, and their biotechnical traits to assess the ability of these species for soil bioengineering techniques, especially in areas not adjacent to watercourses.

These species were selected from a group of candidates considered probably suitable for soil bioengineering works and that need to be tested for this suitability. These species were chosen based on the following criteria: references on their vegetative propagation ability, wide geographic distribution and adaptability to the intervention site.

The tests were conducted from cuttings taken from mother plants in the Lisbon area and installed in Tapada da Ajuda (Centre for Applied Ecology "Prof. Baeta Neves", Institute of Agronomy, CEABN - ISA), Lisbon. After 3 months, the results of the cuttings were analyzed through an statistical analysis as for their root development using the *software* GiA Roots, to assess their biotechnical traits.

Because they can combine good biotechnical features and ability to be vegetatively reproduced, we can conclude that *Coronilla glauca* the *Dittrichia viscosa* and *Myrtus communis* species are indicated for use in soil bioengineering interventions.

The results obtained in this study allow us to provide new construction materials, - living ones - for soil bioengineering works in mainland Portugal, contributing these species to the acceleration of soil stabilization in areas particularly susceptible to erosion and where the use of riparian species may not be the appropriate choice.

**Keywords:** soil bioengineering, soil stabilization, vegetative propagation, biotechnical characteristics, root analysis, portuguese flora

## Extended Abstract

The theme of this work focuses on the intervention of soil bioengineering in areas not adjacent to watercourses, specifically in the selection of plant material best suited to this area of intervention, aiming to contribute to a field substantially less developed, when compared with the margins of watercourses.

By areas not adjacent to watercourses we mean those that, by their distance to these watercourses, temporary or permanent, are outside of their direct influence, resulting in low soil moisture content relatively low.

In order to fulfill the proposed objectives and answer the hypotheses made, two tests were implemented:

- First - Test of five shrub species of the portuguese continental flora
- Second - Test of *Daphne gnidium* L. on different soil substrates.

In both cases, two propagations by cuttings were performed, with 3 and 2 months, respectively. After this period we assessed the success of vegetative propagation and a series of root development parameters, aimed at assessing the biotechnical capabilities of the species under study. For the roots, we measured as indicators: *total length*, *diameter*, *specific length*, *surface area* and *total volume*. We also determined a rate which relates root development with aerial development, known as *root/shoot*, based on the dry masses of both plant components.

We present the results on the ability for vegetative propagation of *Coronilla glauca* L., *Daphne gnidium* L., *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter, *Myrtus communis* L., *Phillyrea angustifolia* L., species from the Portuguese flora, and their biotechnical traits to assess the ability of these species for soil bioengineering techniques, especially in areas not adjacent to watercourses..

These species were selected from a group of candidates considered probably suitable for soil bioengineering works and that need to be tested for their suitability.

The tests were conducted from cuttings taken from mother plants in the Lisbon area and installed in Tapada da Ajuda (Centre for Applied Ecology "Prof. Baeta Neves", Institute of Agronomy, CEABN - ISA), Lisbon. To assign an approximate and relative age between different cuttings the average diameter was recorded for each one, since the younger the cutting, the smaller the average diameter. Thus, a cutting of greater diameter will be an older

branch of the initial cutting and closest to the plant root system. With this methodology, we aimed at identifying whether the age of the cuttings had a significant impact on the rate of vegetative propagation. After 3 months, the results of the cuttings were analyzed as an statistical analysis as for their root development using the *software* GiA Roots, to assess their biotechnical traits.

Because they can combine good biotechnical features and ability to be vegetatively reproduced, we can conclude that *Coronilla glauca* the *Dittrichia viscosa* and *Myrtus communis* species are indicated for use in soil bioengineering interventions.

The results obtained in this study allow us to provide new live construction materials for soil bioengineering works in mainland Portugal, contributing to the acceleration of soil stabilization in areas particularly susceptible to erosion and where the use of riparian species may not be the appropriate choice.

# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo .....	ii
Palavras-chave .....	ii
Abstract .....	iii
Keywords .....	iii
Extended Abstract .....	iv
Lista de tabelas e de figuras .....	viii
Tabelas .....	viii
Figuras .....	viii
Lista de abreviaturas .....	x
1. Introdução .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Tema-problema .....	2
1.3. Objectivos principais .....	2
1.4. Objectivos secundários .....	2
1.5. Metodologia utilizada .....	2
2. Enquadramento teórico .....	4
2.1. Introdução à engenharia natural: dos Alpes a Portugal .....	4
2.2. A intervenção em engenharia natural .....	5
2.3. O material vegetal como elemento construtivo .....	7
2.3.1. Características biotécnicas da vegetação .....	7
2.3.2. A escolha das espécies a utilizar em intervenções de EN .....	10
3. Materiais e Métodos .....	13
3.1. Escolha das espécies a ensaiar .....	13
3.2. Caracterização sumária das espécies ensaiadas .....	15
3.2.1. <i>Coronilla glauca</i> L. ....	15
3.2.2. <i>Daphne gnidium</i> L. ....	16
3.2.3. <i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter .....	17
3.2.4. <i>Myrtus communis</i> L. ....	18
3.2.5. <i>Phillyrea angustifolia</i> L. ....	19
3.3. Recolha do material vegetal .....	20

3.4.	Preparação das estacas.....	21
3.5.	Instalação dos ensaios .....	22
3.6.	Levantamento dos ensaios.....	23
3.7.	Análise estatística .....	28
4.	Resultados .....	30
4.1.	Ensaio de cinco espécies arbustivas da flora continental portuguesa.....	30
4.1.1.	Capacidade de enraizamento .....	30
4.1.2.	Diâmetro radical médio .....	33
4.1.3.	Superfície radical total .....	34
4.1.4.	Comprimento radical total .....	34
4.1.5.	Volume radical total .....	35
4.1.6.	Comprimento radical específico .....	36
4.1.7.	<i>Root/shoot</i> .....	37
4.2.	Ensaio de <i>Daphne gnidium</i> L. em diferentes substratos.....	38
4.2.1.	Capacidade de enraizamento .....	38
5.	Discussão e Conclusões.....	39
5.1.	Capacidade de enraizamento.....	39
5.2.	Características biotécnicas.....	42
5.3.	Considerações finais .....	44
	Referências Bibliográficas .....	46
	Anexos .....	a
	Anexo 1 - Excerto do ficheiro <i>configuration.xml</i> do GiA Roots .....	a
	Anexo 2 – Tabela dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk.....	b
	Anexo 3 – Gráfico do enraizamento de <i>Daphne gnidium</i> por classes de diâmetro .....	b
	Anexo 4 – Gráfico do enraizamento de <i>Phillyrea angustifolia</i> por classes de diâmetro.....	c



## Lista de tabelas e de figuras

### Tabelas

Tabela 1 – Descrição sumária das condições dos ensaios

Tabela 2 – Informação da recolha de ramos de plantas mãe

Tabela 3 – Datas de levantamento dos ensaios

Tabela 4 – Guia de utilização *GiA Roots* (Galkovskyi *et al.*, 2012)

Tabela 5 – Percentagem de enraizamento, estacas enraizadas e ensaiadas por espécie

Tabela 6 – Resultados dos testes de qui-quadrado da relação entre espécie e classes de diâmetro das estacas

### Figuras

Figura 1 – *Coronilla glauca*. (Fonte: SPB, 2012)

Figura 2 – Distribuição da *C. glauca* em Portugal Continental. (Fonte: Bingre et al., 2007)

Figura 3 – Distribuição da *C. glauca* em Portugal Continental. (Adaptado de: Castroviejo et al., 2012)

Figura 4 – *Daphne gnidium*. (Fonte: SPB, 2012)

Figura 5 – Distribuição da *D. gnidium* em Portugal Continental. (Fonte: Bingre et al., 2007)

Figura 6 – Distribuição da *D. gnidium* em Portugal Continental. (Fonte: UTAD, 2012)

Figura 7 – Distribuição da *D. gnidium* em Portugal Continental. (Adaptado de: Castroviejo et al., 2012)

Figura 8 – *Dittrichia viscosa*. (Fonte: SPB, 2012)

Figura 9 – Distribuição da *D. viscosa* em Portugal Continental. (Fonte: Bingre et al., 2007)

Figura 10 – Distribuição da *D. viscosa* em Portugal Continental. (Fonte: UTAD, 2012)

Figura 11 – *Myrtus communis* (Fonte: SPB, 2012)

Figura 12 – Distribuição da *M. communis* em Portugal Continental. (Fonte: Bingre et al., 2007)

Figura 13 – Distribuição da *M. communis* em Portugal Continental. (Fonte: UTAD, 2012)

Figura 14 – Distribuição da *M. communis* em Portugal Continental. (Adaptado de: Castroviejo et al., 2012)

Figura 15 – *Phillyrea angustifolia* (Fonte: SPB, 2012)

Figura 16 – Distribuição da *P. angustifolia* em Portugal Continental. (Fonte: Bingre et al., 2007)

Figura 17 – Distribuição da *P. angustifolia* em Portugal Continental. (Fonte: UTAD, 2012)

Figura 18 – Distribuição da *P. angustifolia* em Portugal Continental. (Adaptado de: Castroviejo et al., 2012)

Figura 19 – Preparação das estacas de *D. viscosa*

Figura 20 – Instalação do primeiro ensaio

Figura 21 – Raízes após digitalização

Figura 22 – Raízes após digitalização (cores invertidas)

Figura 23 – Raízes após edição de imagem

Figura 24 – Raízes após edição de imagem (cores invertidas)

Figura 25 – Gráfico do enraizamento de *Coronilla glauca* por classes de diâmetro

Figura 26 – Gráfico do enraizamento de *Dittrichia viscosa* por classes de diâmetro

Figura 27 – Gráfico do enraizamento de *Myrtus communis* por classes de diâmetro

Figura 28 – Gráfico da média do diâmetro radical médio por espécie

Figura 29 – Gráfico da média da superfície radical por espécie

Figura 30 – Gráfico da média do comprimento radical total por espécie

Figura 31 – Gráfico da média do volume radical total por espécie

Figura 32 – Gráfico da média do comprimento radical específico por espécie

Figura 33 – Gráfico da média da relação root/shoot por espécie

Figura 34 – Rebentos de folhas nas estacas de *D. gnidium*

Figura 35 – Pormenor dos nódulos de *rizhobium* assinalados a vermelho nas raízes da *C. glauca*

## Lista de abreviaturas

ANOVA – Análise de Variância

APENA – Associação Portuguesa de Engenharia Natural

CEABN – Centro de Ecologia Aplicada professor Baeta Neves

EN – Engenharia Natural

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

RECONDES – Conditions for Restoration & Mitigation of Desertified Areas Using Vegetation

SPSS – *Statistical Package for the Social Sciences*

SPB – Sociedade Portuguesa de Botânica

UE – Universidade de Évora

UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

# **1. Introdução**

## **1.1. Enquadramento**

A engenharia natural (EN), também conhecida como engenharia biofísica ou bioengenharia de solos, tem um campo de actuação extenso e o seu estudo minucioso é tarefa infindável. Apesar de não ser exaustivo, este trabalho procura aprofundar o conhecimento já existente e contribuir para ampliar o saber nesta área, no âmbito da dissertação de mestrado em arquitectura paisagista.

A temática deste trabalho centra-se na intervenção de EN em zonas não adjacentes a linhas de água, mais concretamente na selecção do material vegetal mais adequado a esta área de intervenção, pretendendo desenvolver um campo substancialmente menos referenciado em termos de bibliografia, quando comparado com o das margens de linhas de água.

Por zonas não adjacentes a linhas de água entendemos aquelas que, pelo seu afastamento a estes cursos de água, temporários ou permanentes, estão fora da sua influência directa, podendo o solo, por essa razão, apresentar um teor de humidade relativamente mais baixo, nomeadamente devido à distância ao nível freático ou ao declive natural do terreno.

No enquadramento teórico são abordadas a origem da EN moderna, os seus âmbitos de intervenção, as suas funções e objectivos, sendo dado um particular destaque ao material vegetal e às suas propriedades técnicas e a transposição desses conhecimentos para as especificidades dos locais de intervenção deste trabalho, neste caso, as vertentes em Portugal continental.

Segue-se ao enquadramento teórico a fase de Materiais e Métodos, a qual descreve os critérios para a escolha das espécies a ensaiar, as espécies escolhidas, como foi realizada a sua obtenção e preparação das estacas, a instalação e o levantamento dos ensaios e, ainda, o delineamento experimental e a análise estatística a utilizar.

Por último, são apresentados e discutidos os resultados, assim como as conclusões que daí advieram.

## **1.2. Tema-problema**

Que espécies da flora continental portuguesa terão a capacidade de se propagarem vegetativamente, aliando a isso boas características biotécnicas para serem utilizadas em intervenções de EN nas vertentes?

## **1.3. Objectivos principais**

- Identificar que espécies da flora continental portuguesa, capazes de habitar em zonas não adjacentes a linhas de água, têm a capacidade de se reproduzir vegetativamente, quando se encontram em condições idênticas às de uma intervenção de EN;
- Avaliar as características biotécnicas das espécies escolhidas, tendo em vista a sua utilização em intervenções de EN.

## **1.4. Objectivos secundários**

- Comprovar a informação relativa à capacidade de propagação vegetativa das espécies ensaiadas;
- Apresentar as taxas de sucesso da reprodução por via vegetativa das espécies ensaiadas;
- Apurar que espécies apresentam melhores resultados para cada um dos parâmetros avaliados;
- Determinar se o substrato é um factor limitante no sucesso da propagação vegetativa;
- Testar se a época da estacaria tem influência na taxa de sucesso da reprodução por via vegetativa, das espécies ensaiadas.

## **1.5. Metodologia utilizada**

Para cumprir os objectivos propostos e responder às hipóteses conjecturadas, foram implementados dois ensaios:

- Primeiro – Ensaio de cinco espécies arbustivas da flora continental portuguesa,
- Segundo – Ensaio de *Daphne gnidium* L. em diferentes substratos.

Em ambos os casos, foram realizadas estacarias, de 3 e 2 meses, respectivamente, sendo posteriormente avaliado o sucesso da propagação vegetativa e uma série de parâmetros do desenvolvimento radical, das estacas, que visaram avaliar as capacidades biotécnicas das espécies em estudo. Para as raízes, foram medidos os seguintes indicadores: o *comprimento total*, o *diâmetro médio*, o *comprimento específico*, a *área superficial* e o *volume total*. Foi também determinada uma taxa que relaciona o desenvolvimento radical com o desenvolvimento aéreo, conhecida como *root/shoot*, com base nas massas secas de ambas as partes.

Além da diferença já mencionada em termos de estágio de desenvolvimento na terra, o primeiro ensaio distingue-se ainda do segundo relativamente à época de estacaria, espécies ensaiadas e substratos utilizados (Tabela 1).

**Tabela 1 - Descrição sumária das condições dos ensaios**

		<b>Primeiro Ensaio</b>	<b>Segundo Ensaio</b>
<b>Condições</b>	<b>Época de estacaria</b>	Fevereiro (2012)	Julho (2012)
	<b>Espécies</b>	<i>Coronilla glauca</i> ; <i>Daphne gnidium</i> ; <i>Dittrichia viscosa</i> ; <i>Myrtus communis</i> ; <i>Phillyrea angustifolia</i> .	<i>Daphne gnidium</i> .
	<b>Substratos</b>	Solo do local de ensaio	Solo do local de ensaio; Solo do local das plantas mãe; Turfa com vermiculite na proporção 1:1.
	<b>Tempo decorreu até às medições</b>	3 meses	2 meses

No final de ambos os ensaios, pretendeu-se realizar uma análise estatística para verificar se existiria alguma relação entre a *espécie* e o *diâmetro das estacas* com a capacidade de enraizamento e o desenvolvimento radical. Tal foi possível para o primeiro ensaio, mas não para o segundo, porque nenhum exemplar enraizou com sucesso. No caso do segundo ensaio obtivesse resultados, pretendia-se que a análise estatística fosse idêntica à do primeiro mas acrescentando duas outras variáveis independentes: o *substrato* e a *época de instalação do ensaio*.

## 2. Enquadramento teórico

### 2.1. Introdução à engenharia natural: dos Alpes a Portugal

Segundo a definição considerada pela Associação Portuguesa de Engenharia Natural (APENA, 2012):

*“A Engenharia Natural compreende um conjunto de técnicas e práticas que utilizam plantas vivas, preferencialmente autóctones, como elemento do processo construtivo, juntamente ou não com outros materiais (e.g., pedra, madeira, metal), no domínio da restauração ambiental.”*

A utilidade da EN está eminentemente relacionada com o uso de maquinaria pesada na alteração da paisagem, sobretudo com a percepção que o Homem passou a ter das consequências dessas alterações e na necessidade de minimização dos impactes negativos por si gerados, utilizando, para tal, elementos naturais. Pretende-se trabalhar com os sistemas naturais e não contra eles.

Já em 1940, anos antes do surgimento da EN moderna, o arquitecto paisagista Francisco Caldeira Cabral, afirmava:

*“É certo que sempre houve ervas e arbustos à beira da estrada, mas ninguém tinha pensado até aos tempos modernos em os utilizar e plantar como se faz actualmente. Talvez porque os trabalhos corriam com mais lentidão, podia confiar-se ao tempo o cuidado de revestir taludes e bermas e tapar a pouco e pouco as feridas que o homem abria na paisagem. Hoje não sucede assim e o revestimento dos taludes tornou-se uma exigência não apenas estética mas também técnica.”* (Cabral cit. por Lecoq, 2008)

No início da segunda metade do século XX, foi desenvolvida uma sistemática pelo engenheiro Hugo Meinhard Schiechtl nos Alpes orientais austríacos a que se viria a dar o nome de EN. A vegetação utilizada por Schiechtl adequava-se às características biofísicas alpinas, pelo que a transposição da sua experiência faz-se mais facilmente para regiões com semelhantes características. Para as regiões com climas diferentes do alpino, a utilização das espécies experimentadas por Schiechtl estará dependente da sua adaptação a esses outros climas. Assim, a transposição dos seus conhecimentos para outras regiões do globo implicará a procura de espécies com semelhantes características biotécnicas, mas adaptadas às exigências climáticas e edáficas locais.

A partir de 1998, a EN começou a expandir-se para a Itália central e meridional e com isso colocaram-se novos desafios resultantes da adaptação e experimentação das técnicas até então conhecidas (Bifulco, 2001). A experiência adquirida neste contexto, mais semelhante à realidade portuguesa do ponto de vista climático, é uma grande mais-valia para a transposição das técnicas mas sobretudo dos materiais vivos a aplicar em intervenções de EN em Portugal.

Assinalar o início da EN moderna em Portugal é um exercício complexo por não se encontrar actualmente bibliografia que documente a sua história no nosso país. No entanto, a EN, então chamada engenharia biofísica, teve uma licenciatura na Universidade de Évora, criada em 1978 pelos professores e arquitectos paisagistas Francisco Caldeira Cabral e Gonçalo Ribeiro Telles. À data, a engenharia biofísica era leccionada no curso de licenciatura em planeamento biofísico, no então Instituto Universitário de Évora. Em 1981, esse curso divide-se, dando origem aos cursos de licenciatura em engenharia biofísica e arquitectura paisagista, continuando estes a partilhar grande parte do plano curricular. No ano lectivo de 1988/89, procedeu-se à implantação de um novo plano curricular que viria a conferir uma maior autonomia do curso de licenciatura em engenharia biofísica em relação ao de arquitectura paisagista (UE, 2003). O ano lectivo de 2008/2009 foi o último ano em que se leccionou a licenciatura em engenharia biofísica na Universidade de Évora.

No início do século XXI, assiste-se a uma grande evolução, quer nos conhecimentos e técnicas, quer no número de intervenções documentadas. Este salto qualitativo e quantitativo deve-se, em parte, aos conhecimentos que engenheiros e futuros engenheiros portugueses obtiveram em contacto com a experiência entretanto adquirida em Itália, sobretudo no Parque Nacional do Vesúvio. É neste contexto que em 2006 surge a Associação Portuguesa de Engenharia Natural (APENA).

## **2.2. A intervenção em engenharia natural**

As técnicas de EN podem ter múltiplas aplicações para diferentes fins, mas os seus domínios de aplicação são sobretudo de ordem técnica, ecológica e estética. Para Helgard Zeh (2007), estas podem ser descritas da seguinte forma:



### **Funções técnicas**

- Protecção da superfície do solo relativamente à acção erosiva do vento, da precipitação, do gelo e do escoamento hídrico;
- Agregação e consolidação superficial e/ou profunda do solo;
- Protecção contra os aluimentos de pedras;
- Prevenção ou contenção de forças mecânicas danosas;
- Redução da velocidade do escoamento na zona das margens;
- Drenagem;
- Promoção da deposição da neve, areia e outros sedimentos.

### **Funções ecológicas**

- Melhoria dos balanços hídricos através duma melhor capacidade de absorção e retenção do solo e utilização da água pelas plantas;
- Drenagem do solo;
- Equilíbrio das oscilações térmicas no solo e da camada de ar junto ao solo;
- Sombreamento;
- Melhoria do balanço de nutrientes do solo e, conseqüentemente, aumento da fertilidade de solos incipientes ou de substratos inertes;
- Protecção contra o vento;
- Protecção contra o ruído;
- Aumento da produtividade das culturas vizinhas.

### **Funções estéticas**

- Reparação de danos causados na paisagem por catástrofes naturais ou pela acção do Homem (exploração de recursos mineiros, trabalhos de construção, aterros de todos os tipos);
- Integração de construções na paisagem;
- Enriquecimento paisagístico através da criação de pontos focais e novas estruturas, formas e cores da vegetação.

Comparando as técnicas de EN com as clássicas da engenharia civil, este autor (Zeh, 2007), identifica vantagens económicas da primeira, em relação à segunda, no que diz respeito aos custos de obras e aos custos de manutenção e reparação. Aquela que será a maior desvantagem da EN, em relação à engenharia civil, é a ausência de uma sistemática de intervenção tão desenvolvida como a da engenharia clássica.

Um dos objectivos da EN consiste em reduzir ao máximo os eventuais impactes negativos das suas intervenções (Schiechtl, 1973), mas, por vezes, é também chamada a minimizar os impactes negativos resultantes de intervenções de outras disciplinas. Para além de recorrer a materiais inertes, alguns destes sintéticos e adaptados da engenharia civil, a EN elege os materiais inertes biodegradáveis e sobretudo os materiais vivos como materiais elementares de construção, diferenciadores em relação às outras práticas.

### **2.3. O material vegetal como elemento construtivo**

Sendo o material vegetal o elemento diferenciador e com maior relevância nas técnicas de EN, é da maior importância o seu estudo detalhado.

A EN não se pode resumir à colocação de plantas em situações de maior sensibilidade à erosão hídrica. Neste contexto, o arquitecto paisagista Francisco Caldeira Cabral, em 1940, sobre os taludes criados para a construção de estradas, sustentava que:

*“A fixação dos taludes não depende pois da parte aérea das plantas, mas das suas raízes e estolhos subterrâneos e, portanto, um talude inteiramente revestido pode não estar nada fixado. Compreende-se então a inutilidade de plantar sardinheiras nas estradas, porque mesmo que encontrassem condições óptimas de vida que não têm, com o seu sistema radicular diminuto nunca viriam a fixar a terra.”* (Cabral cit. por Lecoq, 2008)

É, por isso, bastante pertinente o conhecimento das capacidades biotécnicas das espécies vegetais para as poder qualificar como indicadas para intervenções de EN.

#### **2.3.1. Características biotécnicas da vegetação**

Ao considerar uma espécie para intervenções de EN, devem ser estudados vários traços característicos dessa espécie, com o objectivo de avaliar o seu potencial para utilização como um material de construção vivo. A esses traços dá-se o nome de características biotécnicas da vegetação. O mais óbvio seria considerar os seus atributos radicais, mas existem, no entanto, outras propriedades técnicas que devem ser consideradas e que podem depender ou não, dessas características radicais. Segundo Florineth (2007) e Bifulco e Rego (2012), estas características biotécnicas da vegetação podem ser:

- A capacidade de reprodução por via vegetativa;
- A capacidade de emissão de raízes adventícias;
- A resistência à submersão sazonal;
- A capacidade de consolidação do solo;
- A elasticidade e a resistência à flexão;
- As resistências ao corte e à tracção por parte do sistema radical;
- A resistência ao arranque.

Tirando a elasticidade, a resistência à flexão e a resistência à submersão sazonal, características essenciais para intervenções próximas de linhas de água, todas as outras características serão desenvolvidas de seguida.

Do ponto de vista da estabilização do solo, as raízes aumentam a sua estabilidade, reforçando-o. Fazem-no porque os sistemas radicais contribuem para uma maior agregação do solo fornecendo-lhe uma maior coesão, aumentando a sua resistência às forças de corte (Gray & Leiser cit. por RECONDES, 2006). O aumento da resistência às forças de corte, por sua vez, depende da resistência à tracção das raízes e da proporção raiz por área de solo. Ainda assim, o efeito das raízes na coesão do solo está fortemente condicionado pelo teor de humidade no solo e pela sua textura (Tengbeh cit. por RECONDES, 2006).

Um dos atributos das plantas que contribui para uma maior resistência ao corte do solo é a transpiração. A presença de água no solo tende a torná-lo mais instável, particularmente numa situação de talude, sendo tanto maior quanto maior for o teor de humidade no solo. A capacidade que a vegetação tem de usar a água disponível no solo e transpirá-la é mais um importante contributo para a mitigação das causas de instabilidade no solo. Através deste processo, as plantas conseguem reduzir o teor de água no solo, conferindo-lhe uma resistência significativamente maior ao corte. Outro factor representativo da capacidade estabilizante do solo, por uma planta, é a resistência ao corte das suas raízes. Este factor tem como unidade o  $\text{KN/m}^2$  e corresponde à pressão máxima de uma carga, aplicada no torrão de uma planta até ao ponto de corte (Florineth & Molon, 2004).

Relativamente à erosão superficial, são as raízes superficiais da planta, a sua parte aérea e respectiva folhada, acumulada no solo, os responsáveis mais directos pela redução deste tipo de erosão: as raízes, ao ancorarem as camadas mais superficiais do solo e ao promoverem a infiltração da água (Florineth & Molon, 2004), e as folhas e ramos, ao interceptarem as gotas da chuva antes que estas atinjam o solo, reduzindo a sua velocidade e força de impacto, quando comparado com um solo desprovido de vegetação. A parte aérea da planta determina a altura da queda das gotas de água por si interceptadas e,

portanto, quanto maior for essa altura, maior será o potencial erosivo dessas gotas. Assim sendo, a vegetação herbácea deverá garantir uma menor erosão por salpico, comparativamente com os estratos arbustivo e arbóreo (Oliveira, 2006).

A capacidade de estabilização de terreno pode ser representada pela resistência ao desenraizamento, ou arranque, de uma planta. Esta resistência é um indicador da estabilidade conjunta do terreno e da raiz, exprimindo a soma da resistência das raízes e a intensidade com que estas penetram no solo (Florineth & Molon, 2004). Segundo estes autores, a resistência ao desenraizamento depende dos seguintes factores:

- Características pedológicas do local (granulometria, coesão);
- Condições ecológicas de crescimento da planta (disponibilidade de água, luz e nutrientes);
- Espécie;
- Idade da planta.

Stokes *et al.* (2009) consideram também que o aumento do comprimento do aparelho radical contribui para uma maior resistência ao arranque da planta, até um determinado comprimento crítico, a partir do qual as raízes quebram em vez de deslizarem no solo, pelo que nem todas as plantas têm sistemas radicais adequados para a estabilização do solo. Uma determinada espécie pode até apresentar características radicais simultaneamente positivas e negativas para a sua aplicação em intervenções de EN. Exemplo será uma espécie com um elevado comprimento radical total, característica positiva, e um elevado diâmetro radical médio, característica negativa, numa situação de instabilidade com substrato rochoso. Ao engrossarem nas fissuras de rochas, as raízes de uma planta podem fazer precipitar blocos de pedra com efeitos potencialmente mais danosos em taludes com declives mais expressivos. Importa assim, quantificar as diferentes características radicais, das espécies que se pretendem avaliar quanto à sua adequabilidade à EN, pois são bons indicadores do seu potencial de agregação do solo.

Uma dessas características é o diâmetro radical. Para vários autores, referindo Abe & Ziemer (1991), Gray & Sotir (1996) e Stokes *et al.* (2009), as raízes de menor diâmetro contribuem para uma maior agregação do solo e têm uma maior resistência ao arranque e ao corte. Segundo Stokes *et al.* (2009), quanto menor for o diâmetro radical, mais fortes serão as raízes em tensão, todavia a sua longevidade será menor, bem como a sua resistência à torção e a sua capacidade de penetrar no solo.

Para estes últimos autores (Stokes *et al.*, 2009), as raízes de diâmetros mais reduzidos são as que normalmente atingem valores mais elevados de comprimento específico.

Consequentemente, menores valores de comprimento específico resultam em diâmetros radicais maiores. O comprimento específico radical de uma planta é o coeficiente entre o comprimento do seu sistema radical e o seu respectivo volume ou massa. Já a superfície radical de uma planta é um indicador da absorção potencial de água e nutrientes de uma planta (Himmelbauer *et al.*, 2004). Assim sendo, é desejável que o sistema radical de uma planta, a aplicar em intervenções de EN, apresente um valor mais elevado de comprimento específico, por ter um diâmetro mais reduzido e consequentemente um maior potencial de agregação do solo.

A relação raiz-parte aérea, mais conhecida como *root/shoot*, é um importante indicador das capacidades estabilizantes do solo de uma espécie. A *root/shoot* é calculada com base na massa ou volume da planta. Através do seu valor é possível estimar o desenvolvimento radical de uma planta, com base no desenvolvimento da sua respectiva parte aérea, sendo por isso, um dos indicadores vegetais mais frequentemente referidas em publicações de engenharia natural. Espécies que tenham valores de *root/shoot* maiores do que 1, têm um porte radicular maior do que o aéreo, e por isso uma melhor aptidão para a estabilização do solo. Em climas com uma estação seca, como é o caso do clima mediterrânico, este valor tem ainda mais importância para plantas mediterrânicas, onde o desenvolvimento precoce do aparelho radical pode ser determinante para a sobrevivência à primeira estação seca (Silva, 2002). Ao preferir-se controlar a erosão por salpico, a parte aérea da planta é o atributo mais importante a ter em conta na escolha das espécies (Poesen e Baets, 2007). Idealmente, deve-se tentar alternar a plantação de espécies com aparelhos radiculares apurados, com espécies com raízes superficiais para uma melhor estabilização dos diferentes níveis de profundidade de solo.

### **2.3.2. A escolha das espécies a utilizar em intervenções de EN**

A importância de compreender que espécies são mais indicadas para serem utilizadas em técnicas de EN pode ser enfatizada segundo diferentes factores ou critérios, que representam os objectivos a atingir com a sua instalação. É para isso fundamental que as espécies escolhidas cumpram os requisitos técnicos supra mencionados, complementados com outros critérios, mais específicos do local de intervenção, para a selecção das espécies a utilizar na sua estabilização, tendo em conta que:

1. Para o êxito e a longevidade da intervenção, só as correctamente adaptadas às condições de clima e solo locais podem preencher esse requisito;

2. Na óptica da viabilidade da intervenção as espécies eleitas devem ser de fácil obtenção e propagação. Segundo Hartmann e Kester (1983), 50% de taxa de sucesso de propagação é o valor limite de viabilidade económica de produção de uma planta em viveiro;
3. Devem também ser privilegiadas espécies com carácter pioneiro e com um estabelecimento e desenvolvimento rápidos, para que a aplicação da vegetação na obra de EN estabilize, com maior celeridade, o local de intervenção, preparando-o para que se instalem outras espécies, além das introduzidas inicialmente;
4. Critério não menos importante é a escolha de espécies que sejam de manutenção fácil, ou que precisem de pouca manutenção após o período de instalação.

A propagação do material vegetal para intervenções de EN deverá ser feita por via vegetativa por ser um método que consegue aliar um menor custo, quando comparado com plantas envasadas, a uma maior velocidade na obtenção de plantas com raiz, quando comparado com a propagação seminal. Além disso, as plantas mais adequadas para a estabilização de taludes não estão muitas vezes disponíveis em viveiro. Assim sendo, é comum e desejável a obtenção de estacas a partir de plantas mãe próximas do local de intervenção por serem os genótipos melhor adaptados. Como consequência desta abordagem, são também inferiores os custos relacionados com esta logística.

Contudo, a utilização de estacas em climas com um grande período de estio, como é característico do clima mediterrânico, pode apresentar uma limitação considerável. Tipicamente, as intervenções de EN devem ser implementadas durante o Outono, com o início das primeiras chuvas. Até ao final da primavera, início do período de seca estival, as estacas terão desenvolvido os seus sistemas radicais graças à disponibilidade, relativamente constante, de água no solo. A partir desta altura, caso as raízes não se tenham desenvolvido em profundidade o suficiente, as estacas podem não conseguir alcançar porções de solo, onde ainda permaneça alguma humidade durante toda a estação seca. A ausência de água disponível durante esta fase crítica do crescimento destas novas plantas, poderá resultar numa elevada taxa de mortalidade durante o estio de Verão. Foi o que aconteceu no Parque Nacional do Vesúvio, em Itália, onde para contornar esta dificuldade, foram utilizadas em intervenções de EN, plantas com raiz colocadas em posição sub-horizontal e com 1 metro de caule enterrado.

Na selecção do material vegetal mais adequado em EN também deve ser considerado o impacto que essas espécies podem ter na presença de outras que lhes sucedem. Schiechtl (1973) ao monitorizar as suas intervenções constatou que era comum, anos após a sua implementação, as espécies inicialmente escolhidas poderem já não estar presentes, dando

lugar a outras, naturalmente condicionadas pelas espécies inicialmente eleitas. Assim, além de terem boas características biotécnicas, as espécies a utilizar devem estar de acordo com a fitocenose do lugar de intervenção e com as possíveis séries de sucessões ecológicas do local (Cornelini e Bianco, 2010).

### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Escolha das espécies a ensaiar

A escolha das espécies a ensaiar foi feita com base no trabalho de Bifulco e Rego (2012). No artigo, os autores elaboram uma lista onde são classificadas espécies da flora portuguesa quanto à probabilidade da sua adequação a intervenções de EN. Das espécies que constam dessa lista resolvemos eleger cinco espécies obedecendo a diferentes critérios.

Os critérios adoptados na escolha das espécies a ensaiar foram os seguintes:

- A existência de referências bibliográficas pouco conclusivas relativamente à sua capacidade de propagação vegetativa;
- A ampla distribuição geográfica em Portugal continental;
- A adaptação a habitats fora das zonas adjacentes às linhas de água;
- Tratar-se de espécies adaptadas ao local onde seria realizado o ensaio, no Centro de Ecologia Aplicada professor Baeta Neves (CEABN), Tapada da Ajuda, Lisboa.

O critério da ampla distribuição geográfica, considerado por Bifulco e Rego (2012) como superior a um terço do território nacional continental, prende-se com a prioridade que deve ser dada ao estudo de espécies que possam ser preferencialmente aplicadas à generalidade do território português. Este objectivo seria de mais difícil realização caso fossem escolhidas espécies endémicas de pequenas porções do território nacional. Essas espécies, com uma maior distribuição, podem ser consideradas mais "plásticas" não só pela sua maior distribuição geográfica mas também pela sua menor exigência edáfica. Ao adoptarmos agora este critério, não pretendemos com isso considerar menos importantes as espécies com menores distribuições geográficas, mas antes considerar como menos prioritário o estudo destas.

As áreas aproximadas da distribuição das espécies eleitas foram obtidas com base na sobreposição de três fontes: "Guia de Campo – As árvores e os arbustos de Portugal continental" (Bingre *et al.*, 2007), "Flora Digital de Portugal" (UTAD, 2012) e "Flora Iberica" (Castroviejo *et al.*, 2012). Estas três fontes serviram também para determinar a adaptação das espécies a habitats fora das zonas adjacentes às linhas de água.



Com base nestes critérios, as espécies eleitas para o ensaio foram: *Coronilla glauca* L., *Daphne gnidium* L., *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter, *Myrtus communis* L., *Phillyrea angustifolia* L..

Insistiu-se num segundo ensaio para a *D. gnidium*, por ser uma espécie com uma distribuição geográfica próxima da totalidade do território nacional continental, e porque os resultados de enraizamento desta espécie foram nulos no primeiro ensaio. Assim, caso conseguíssemos comprovar a sua capacidade de propagação por via vegetativa, referenciada para este género por Piotto e Di Noi (2001) e Jockel (2012), esta espécie poderia ser considerada apta para grande parte das intervenções de EN em Portugal continental, sublinhando ainda a importância de ser uma espécie que habita preferencialmente zonas não adjacentes a linhas de água (Bingre *et al.*, 2007, Castroviejo *et al.*, 2012 e UTAD, 2012).

Para este ensaio, decidimos aprofundar o conhecimento desta importante espécie, alterando a época de estacaria para uma mais próxima da recomendada na bibliografia para o género *Daphne* – Junho-Julho ou Setembro - (Jockel, 2012), e experimentando com mais dois substratos, além do utilizado no primeiro ensaio. Foram usados estes outros substratos, para além do solo do local de ensaio (Tapada da Ajuda), para despistar se seria este o factor determinante para o não enraizamento desta espécie. A época do ano também seria analisada como um factor.

### 3.2. Caracterização sumária das espécies ensaiadas

#### 3.2.1. *Coronilla glauca* L.



Figura 1 - *Coronilla glauca*. (Fonte: SPB, 2012)

**Habitat:** matos sobre substrato calcário, geralmente em comunidades casmófitas (Bingre *et al.*, 2007), matagais e rupícola (UTAD, 2012), matagais de ribeiras, barrancos ensombrados e arribas, em substrato calcário (Castroviejo *et al.*, 2012)

#### Distribuição em Portugal continental



Figura 2 –  
Distribuição da *C. glauca* em Portugal Continental. (Fonte: Bingre *et al.*, 2007)

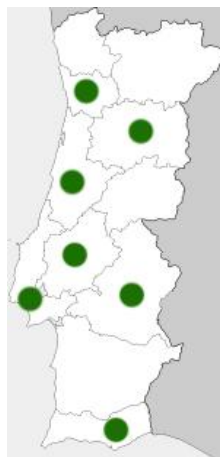


Figura 3 –  
Distribuição da *C. glauca* em Portugal Continental. (Adaptado de: Castroviejo *et al.*, 2012)

### 3.2.2. *Daphne gnidium* L.



Figura 4 - *Daphne gnidium*. (Fonte: SPB, 2012)

**Habitat:** matos secos (Bingre *et al.*, 2007), matos, matagais e terrenos incultos (UTAD, 2012), azinhais, sobrais, carrascais e matagais de substituição – especialmente por incêndio - desses povoamentos (Castroviejo *et al.*, 2012)

#### Distribuição em Portugal continental



Figura 5 –  
Distribuição da *D. gnidium* em Portugal Continental. (Fonte: Bingre *et al.*, 2007)



Figura 6 –  
Distribuição da *D. gnidium* em Portugal Continental. (Fonte: UTAD, 2012)

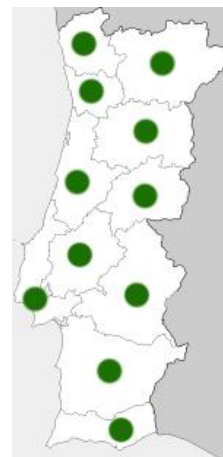


Figura 7 –  
Distribuição da *D. gnidium* em Portugal Continental. (Adaptado de: Castroviejo *et al.*, 2012)

### 3.2.3. *Dittrichia viscosa* (L.) Greuter



Figura 8 - *Dittrichia viscosa*. (Fonte: SPB, 2012)

**Habitat:** matos xerofílicos, pousios velhos e bermas de caminhos (Bingre *et al.*, 2007), ruderal (UTAD, 2012).

#### Distribuição em Portugal continental



Figura 9 –  
Distribuição da *D. viscosa* em Portugal Continental.  
(Fonte: Bingre *et al.*, 2007)



Figura 10 –  
Distribuição da *D. viscosa* em Portugal Continental.  
(Fonte: UTAD, 2012)

### 3.2.4. *Myrtus communis* L.



Figura 11 - *Myrtus communis* (Fonte: SPB, 2012)

**Habitat:** matos e matagais xerofílicos, orlas de bosquetes (Bingre *et al.*, 2007), matos e ripícola (UTAD, 2012), carrascais, lentiscais, estevais e outros matagais (Castroviejo *et al.*, 2012)

#### Distribuição em Portugal continental



Figura 12 –  
Distribuição da *M. communis* em Portugal Continental. (Fonte: Bingre *et al.*, 2007)



Figura 13 –  
Distribuição da *M. communis* em Portugal Continental. (Fonte: UTAD, 2012)

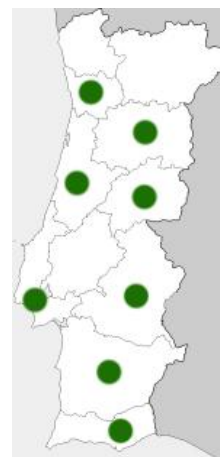


Figura 14 –  
Distribuição da *M. communis* em Portugal Continental. (Adaptado de: Castroviejo *et al.*, 2012)



### 3.2.5. *Phillyrea angustifolia* L.



Figura 15 - *Phillyrea angustifolia* (Fonte: SPB, 2012)

**Habitat:** ocorre nos matos altos de substituição das florestas esclerofilas e é indiferente à natureza do substrato. Pode colonizar solos pobres e pedregosos em ambiente de grande secura. Apresenta sensibilidade ao frio (geada) o que condiciona a sua presença em altitude (Bingre *et al.*, 2007). Matos, matagais e terrenos incultos (UTAD, 2012), matagais, bosques esclerofilos e arenosos, indiferente edáfica entre 0-1300 m (Castroviejo *et al.*, 2012).

#### Distribuição em Portugal continental



Figura 16 –  
Distribuição da  
*P. angustifolia*  
em Portugal  
Continental.  
(Fonte: Bingre  
*et al.*, 2007)



Figura 17 –  
Distribuição da  
*P. angustifolia*  
em Portugal  
Continental.  
(Fonte: UTAD,  
2012)

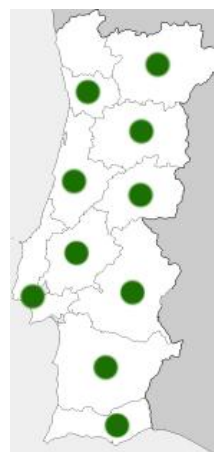


Figura 18 –  
Distribuição da  
*P. angustifolia*  
em Portugal  
Continental.  
(Adaptado de:  
Castroviejo *et al.*, 2012)

### 3.3.Recolha do material vegetal

A obtenção das estacas foi feita a partir de plantas mãe que estivessem situadas a menos de 25 quilómetros do local de ensaio. Pretendemos com isso seleccionar indivíduos cujos genótipos estivessem melhor adaptados às condições edáficas, mas sobretudo climáticas, do local de ensaio.

Todos os ramos foram obtidos a partir de plantas mãe situadas no concelho de Cascais de acordo com a seguinte tabela (Tabela 2):

**Tabela 2 - Informação da recolha de ramos de plantas mãe**

Espécie	Ensaio	Data	Local
<i>C. glauca</i>	1º	20/02/2012	Pinhal da Quinta dos Ingleses, freguesia de Carcavelos
<i>D. gnidium</i>	1º	15/02/2012	Quinta do Pisão de Cima, freguesia de Alcabideche
<i>D. gnidium</i>	2º	10/07/2012	Pinhal da Quinta dos Ingleses, freguesia de Carcavelos
<i>D. viscosa</i>	1º	15/02/2012	Quinta do Pisão de Cima, freguesia de Alcabideche
<i>M. communis</i>	1º	20/02/2012	Pinhal da Quinta dos Ingleses, freguesia de Carcavelos
<i>P. angustifolia</i>	1º	17/02/2012	Matos a Este da Praia do Guincho, freguesia de Alcabideche

Em todos os casos, o corte de caules das plantas mãe foi efectuado em número reduzido, por cada planta, com o objectivo de não colocar em risco a continuidade das mesmas, além de se pretender anular o efeito do indivíduo nos parâmetros a serem avaliados, alargando a base genética. O efeito do individuo tem efeitos reconhecidos na capacidade de enraizamento de estacas (Faria *et al.*, 2008).

Procurámos obter estacas apenas a partir de plantas mãe em bom estado fitossanitário e para tal foi feita uma sumária análise visual das mesmas. A idade das plantas mãe não foi considerada, já que existem opiniões contraditórias relativamente à idade que garante melhores taxas de sucesso na propagação vegetativa. Segundo Schiechl (1973), até aos 2-3 anos, a capacidade de enraizamento aumenta com a idade e diâmetro das estacas. Contudo, outros autores defendem a utilização de estacas de material rejuvenescido para a obtenção de melhores resultados de enraizamento (Hartmann e Kester, 1983; Pignatti e Crobeddu, 2005).

Após o corte, todos os ramos foram acondicionados e transportados com as bases de corte submergidas em água corrente.

### 3.4. Preparação das estacas

Para todas as espécies ensaiadas, a preparação das estacas foi realizada nas 24 horas seguintes ao corte dos ramos das plantas mãe.

Procurou-se realizar várias estacas a partir dum mesmo ramo para assim obter uma aproximação da diferenciação de idades, efectuando estacas desde a base de corte do ramo inicial até ao seu ápice, com comprimentos da ordem dos 20-30 centímetros (Figura 19).



**Figura 19 - Preparação das estacas de *D. viscosa***

As estacas escolhidas para os ensaios foram seleccionadas com o intuito de obter uma distribuição o mais normal possível relativamente às diferentes partes do ramo inicial. Para atribuir uma idade aproximada e relativa, entre as diversas estacas, foi registado o diâmetro médio de cada uma, já que quanto mais jovem for a estaca, menor será o seu diâmetro médio. Assim, uma estaca de maior diâmetro será uma estaca do ramo inicial mais velha e mais próxima do colo da planta. Com esta metodologia, pretendeu-se identificar se a idade das estacas teve um impacte significativo na taxa de propagação vegetativa.

As folhas das estacas que iriam entrar em contacto com o substrato foram removidas para reduzir a possibilidade de ocorrer uma infecção por fungos.



### 3.5. Instalação dos ensaios

A instalação dos ensaios foi efectuada no CEABN, no dia em que se prepararam as estacas da respectiva espécie.

No primeiro ensaio, as espécies foram separadas por cinco contentores, todos de 40 alvéolos, com 180 mm de altura e 300 cm<sup>3</sup> cada. Os alvéolos foram previamente preenchidos com solo obtido nas imediações do CEABN. Este solo foi classificado como vertissolo, um solo alcalino (pH 8,0), com uma textura franco-argilosa.

No total, colocaram-se nos diferentes contentores 40 estacas de *D. gnidium* e de *D. viscosa*, e 30 de *C. glauca*, *M. communis*, *P. angustifolia* (Figura 20).



**Figura 20 - Instalação do primeiro ensaio**

No segundo ensaio, foram utilizados 3 contentores com as mesmas características das do ensaio anterior. Desta vez, apenas um tabuleiro foi preenchido com solo obtido nas imediações do CEABN. Num segundo contentor foi utilizado solo recolhido do local onde se encontravam as plantas mãe, um solo também alcalino (pH 8,2) mas com um maior teor de areia que o ensaiado anteriormente, conferindo-lhe uma textura franco-arenosa, e num terceiro contentor utilizou-se turfa com vermiculite na proporção 1:1.

Para este 2º ensaio, foram utilizadas no total, 120 estacas, 40 por tabuleiro.

Nos dois ensaios efectuaram-se regas manuais de 3 em 3 dias, em semelhantes dotações para cada estaca, para que a ausência de água não fosse um factor limitante ao enraizamento destas espécies, especialmente num ano hidrológico (2011/2012) em que os meses de Dezembro a Março foram especialmente secos (IM, 2012).

A investigação decorreu em ambiente sem controlo de temperatura nem de humidade relativa do ar. Não foram aplicados desinfectantes, fungicidas ou hormonas de enraizamento, prática bastante comum na reprodução por via vegetativa na bibliografia consultada. Ao adoptarmos esta metodologia, pretendemos que a mesma se aproximasse, o mais possível, das condições de obra de uma intervenção em EN, onde normalmente as estacas são colocadas no local de intervenção ainda sem qualquer raiz e sem a aplicação de hormonas de enraizamento (Schiechtl, 1973), para que os resultados tenham, efectivamente, uma orientação mais prática e de aplicação no terreno.

### 3.6. Levantamento dos ensaios

A duração dos ensaios no substrato foi de aproximadamente 3 meses para o primeiro ensaio e de 2 meses para o segundo. Durante estes períodos, cada estaca foi etiquetada com um código identificativo único, a que se fez corresponder o respectivo diâmetro registado anteriormente, na fase de instalação do ensaio. Além da rega, já mencionada, mais nenhuma outra intervenção foi realizada.

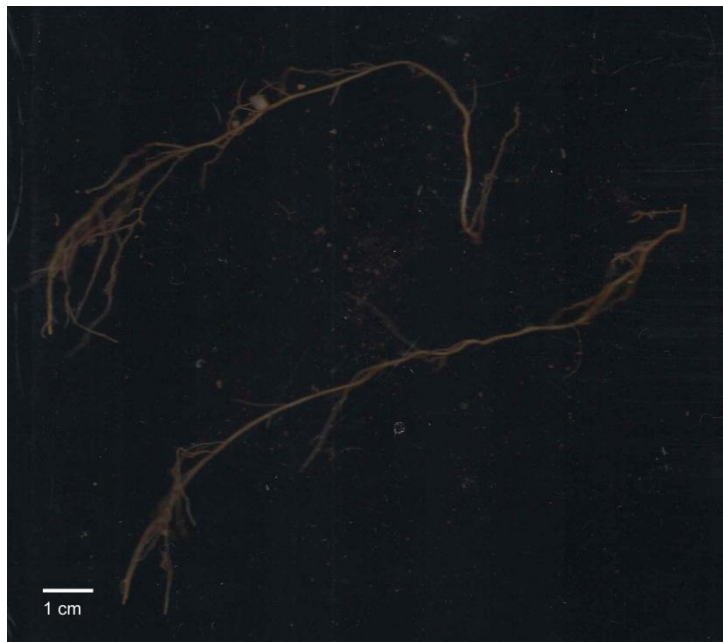
Para o primeiro ensaio, a levantamento das estacas foi feito com a seguinte distribuição (Tabela 3):

**Tabela 3 - Datas de levantamento dos ensaios**

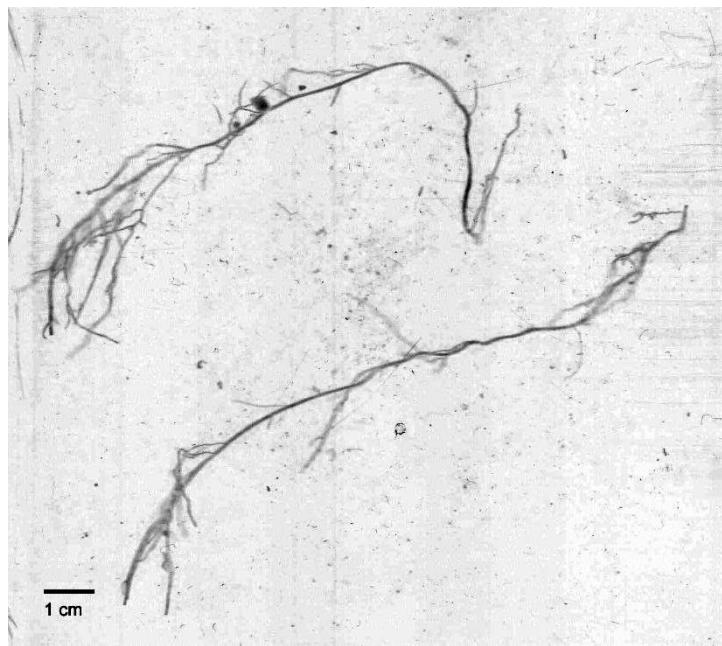
Ensaio	Dia	Espécie	Substrato
1º	30/05/2012	<i>D. viscosa</i>	Solo do local de ensaio
	01/06/2012	<i>C. glauca</i>	
	04/06/2012	<i>M. communis</i>	
	05/06/2012	<i>D. gnidium</i>	
		<i>P. angustifolia</i>	
2º	04/09/2012	<i>D. gnidium</i>	Solo do local de ensaio
			Solo do local das plantas mãe
			Turfa com vermiculite (1:1)

Para remover as raízes do substrato em que se encontravam, foi necessário desagregá-lo lentamente com água, de forma a danificar, o menos possível, eventuais raízes resultantes da estacaria. A este processo seguiu-se a separação das raízes de infestantes das raízes das estacas. Para uma percepção do desenvolvimento global de cada estaca, todos os exemplares ensaiados foram depois fotografados, com papel milimétrico em pano de fundo. Entretanto, as estacas foram primeiramente avaliadas quando à sua capacidade de propagação por via vegetativa, sendo-lhes atribuída a classificação de “enraizadas” ou “não enraizadas”.

As raízes foram destacadas das estacas e colocadas num tabuleiro de plástico transparente com uma fina camada de água, para que com o auxílio de pinças, se conseguisse reduzir, ao máximo, a sobreposição de raízes. O mesmo tabuleiro foi colocado sobre o *scanner*, um HP Officejet 7500A Wide Format (Hewlett-Packard Company, Califórnia, EUA), onde foram digitalizadas, uma a uma, as raízes de cada estaca, com 300 dpi de resolução. A digitalização ocorreu num ambiente sem luz, pelo que as raízes digitalizadas apresentavam-se “a cores” em fundo preto (Figura 21). Para facilitar a leitura da imagem num documento impresso invertemos as cores da mesma (Figura 22).



**Figura 21 - Raízes após digitalização**



**Figura 22 - Raízes após digitalização (cores invertidas)**

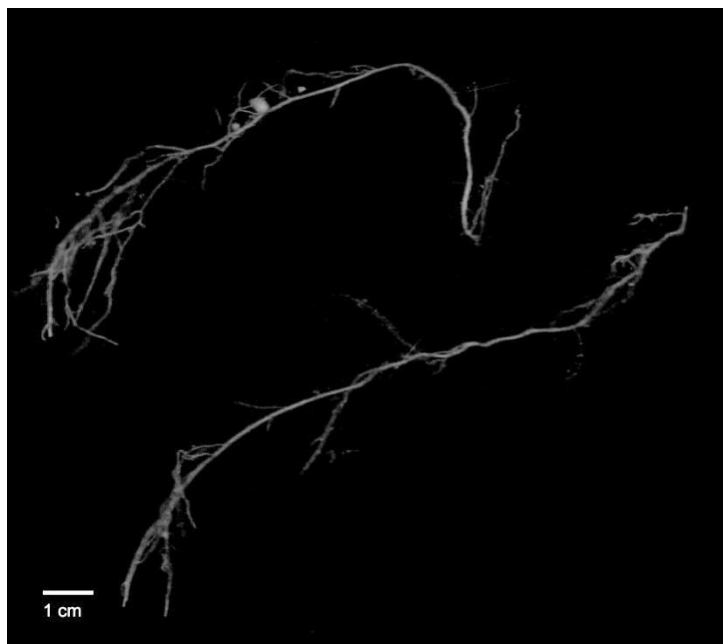
Para proceder à análise do desenvolvimento radical, recorreu-se ao *software GiA Roots* (Georgia Tech Research Corporation and Duke University, EUA). Como muitos outros programas do seu género, o *GiA Roots* é mais indicado para condições de pouca variabilidade na composição das imagens e quando o número de imagens a analisar é elevado (Tabela 1).

**Tabela 4 – Guia de utilização *GiA Roots* (Galkovskyi et al., 2012)**

<b>Variabilidade nas Condições de Imagem</b>	Alta (imagens de campo com fundos variáveis)	<i>Software ImageJ</i> Análise manual	Abordagem seriamente desaconselhada
	Baixo (câmara fixa em condições de laboratório)	<i>Software ImageJ</i> <i>Software GiA Roots</i>	<i>GiA Roots</i>
		Baixo (< 10)	Alto (> 100)
<b>Número de Imagens</b>			

As imagens foram importadas para o *GiA Roots*, onde foram aferidos os diferentes parâmetros do programa, de maneira a reproduzirem, o melhor possível, as características das raízes a analisar (Anexo 1).

Apesar das raízes terem sido consideradas limpas a “olho nu” e de o tabuleiro de plástico ter sido limpo entre a digitalização de cada raiz, uma análise mais atenta das imagens detectou impurezas que iriam interferir com os resultados exportados pelo *GiA Roots*. Para anular as referidas impurezas, recorreu-se a um editor de imagem de licença livre, o GIMP 2.6.11 (The GIMP team, sem local). As imagens foram convertidas para preto e branco e as impurezas pintadas a preto, como o fundo, para assim restarem apenas as raízes em branco sobre preto (Figura 23). Para facilitar a leitura da imagem num documento impresso invertemos as cores da mesma (Figura 24).



**Figura 23 - Raízes após edição de imagem**



**Figura 24 - Raízes após edição de imagem (cores invertidas)**

Após este último passo, foram novamente aferidos os diferentes parâmetros do programa *GiA Roots*, desta vez com valores exportados bastante satisfatórios.

Após a digitalização, as raízes foram guardadas em sacos papel *kraft* individuais. O mesmo processo de arquivagem foi adoptado em relação aos desenvolvimentos caulinares e foliares da estaca. Todo este material foi posteriormente levado a uma estufa a 80°C, onde

permaneceram durante 48 horas. Findo esse período, foram então pesadas a parte aérea e a parte radical de cada estaca para determinar as respectivas massas secas e por sua vez a relação *root/shoot*.

### 3.7. Análise estatística

Para testar a relação entre as diferentes variáveis em estudo, foram realizados testes de qui-quadrado ( $\chi^2$ ) de Pearson para a variável dicotômica dependente *enraizamento* e análises de variância (ANOVAs) para as restantes variáveis dependentes mas contínuas. Essas variáveis foram: o *diâmetro radical médio*, o *comprimento radical específico*, a *superfície radical total*, o *comprimento radical total*, o *volume radical total* e a *root/shoot*.

Toda a análise estatística foi feita com recurso ao *software* IBM SPSS Statistics 20 (IBM, Nova Iorque).

A variável independente *diâmetro da estaca*, inicialmente obtida em milímetros, foi reclassificada em 5 classes com semelhantes distribuições de frequência (< 3, 3-4, 4-5, 5-7, > 7 cm).

Foi realizado um teste de qui-quadrado entre a variável *espécie* e a variável *enraizamento* e outro entre a variável *classes de diâmetro* e a variável *enraizamento*, mas neste último caso com as espécies discriminadas.

As ANOVAs foram realizadas com duas variáveis independentes, *espécie* e *classe de diâmetro da estaca*, e o nível de significância ( $\alpha$ ) foi estabelecido em 0,05. Para respeitar o pressuposto de distribuição normal de resíduos das variáveis dependentes, as ANOVAs foram realizadas com transformações logarítmicas às variáveis *diâmetro radical médio*, *comprimento radical específico*, *superfície radical total*, *comprimento radical total* e *volume radical total*, e a transformação de raiz quadrada à variável *root/shoot*.

Sempre que os resultados das análises de variância resultaram em diferenças estatisticamente significativas, recorreremos à análise do teste de comparação múltipla de médias (*post-hoc*) HSD de Tukey.

Um outro pressuposto da ANOVA é a homogeneidade de variâncias, requisito esse que não foi conseguido para as transformações das variáveis *superfície radical total*, *comprimento radical total*, *volume radical total* e *root/shoot*, pelo que os resultados dessas análises de variância devem ser interpretados com prudência.

No segundo ensaio, as variáveis independentes em investigação seriam o *diâmetro das estacas* e o *substrato*, sendo também possível por comparação com o primeiro ensaio, invocar uma terceira variável independente: a *época de estacaria*. Seriam, uma vez que, como será de seguida demonstrado nos resultados, nenhuma das estacas ensaiadas conseguiu enraizar. Assim sendo, este objectivo não foi conseguido.



## 4. Resultados

### 4.1. Ensaio de cinco espécies arbustivas da flora continental portuguesa

#### 4.1.1. Capacidade de enraizamento

No primeiro ensaio, os resultados do enraizamento, por espécie, foram os seguintes:

**Tabela 5 - Percentagem de enraizamento, estacas enraizadas e ensaiadas por espécie**

<b>Espécie</b>	<b>Enraizamento</b>	<b>Estacas enraizadas</b>	<b>Estacas ensaiadas</b>
<i>Coronilla glauca</i>	30,00%	9	30
<i>Daphne gnidium</i>	0,00%	0	40
<i>Dittrichia viscosa</i>	85,00%	34	40
<i>Myrtus communis</i>	20,00%	6	30
<i>Phillyrea angustifolia</i>	3,33%	1	30

Destes resultados, há que salientar a elevada taxa de sucesso da propagação da *D. viscosa* (85%). Destacam-se igualmente mas pela negativa a *D. gnidium* e a *P. angustifolia* com 0% e 3,33% na respectiva percentagem de enraizamento.

Segundo o teste de qui-quadrado, existe uma associação estatisticamente significativa entre as espécies estudadas e a sua capacidade de enraizamento,  $\chi^2 (4, N = 170) = 87,314$ ,  $p < 0,01$ .

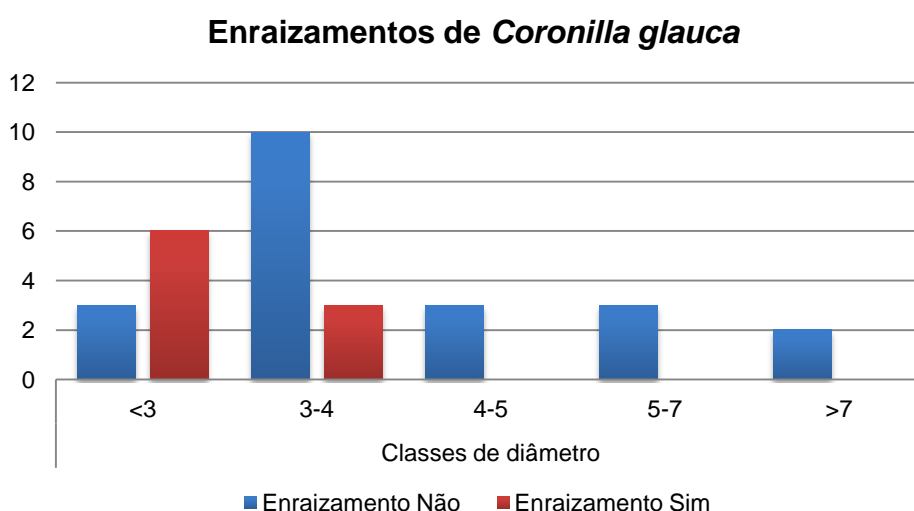
Relativamente ao enraizamento por classes de diâmetro, nenhuma espécie revelou associações estatisticamente significativas entre classes de diâmetro da estaca e enraizamento (Tabela 6 e Figuras 25-27).

**Tabela 6 - Resultados dos testes de qui-quadrado da relação entre enraizamento e classes de diâmetro das estacas**

Espécie	Qui-quadrado de Pearson		
	Valor	Graus de liberdade	Significância Assimptótica
<i>Coronilla glauca</i>	9,487	4	0,050
<i>Daphne gnidium</i> <sup>a</sup>	-	-	-
<i>Dittrichia viscosa</i>	1,765	4	0,779
<i>Myrtus communis</i>	6,202	4	0,185
<i>Phillyrea angustifolia</i>	3,399	4	0,493

a - A espécie *Daphne gnidium* não apresenta valores para o teste de qui-quadrado por não ter casos válidos em ambos os grupos de enraizamento

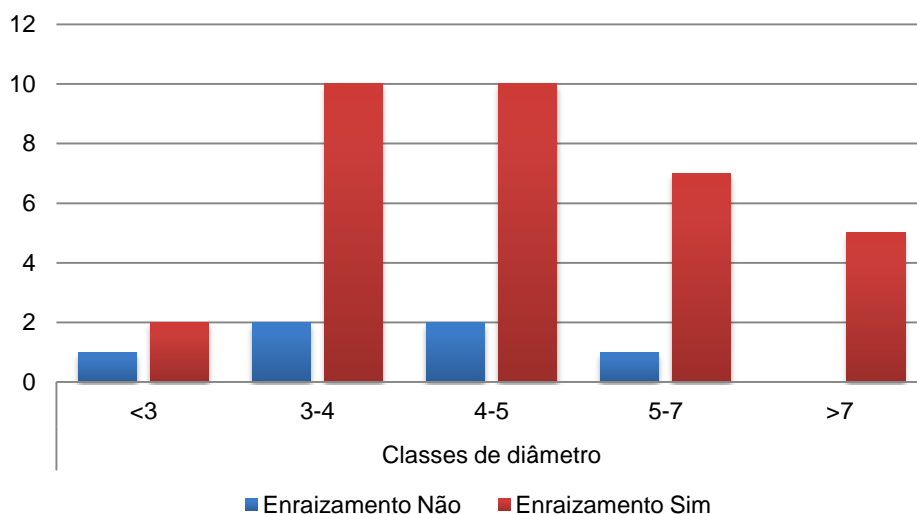
No entanto, há que destacar que a *C. glauca* apresenta um valor de *p* muito próximo do valor de significância considerado. O gráfico da figura 25 revela alguma tendência desta espécie para enraizar melhor quando são utilizadas estacas mais jovens.



**Figura 25 – Gráfico do enraizamento de *Coronilla glauca* por classes de diâmetro**

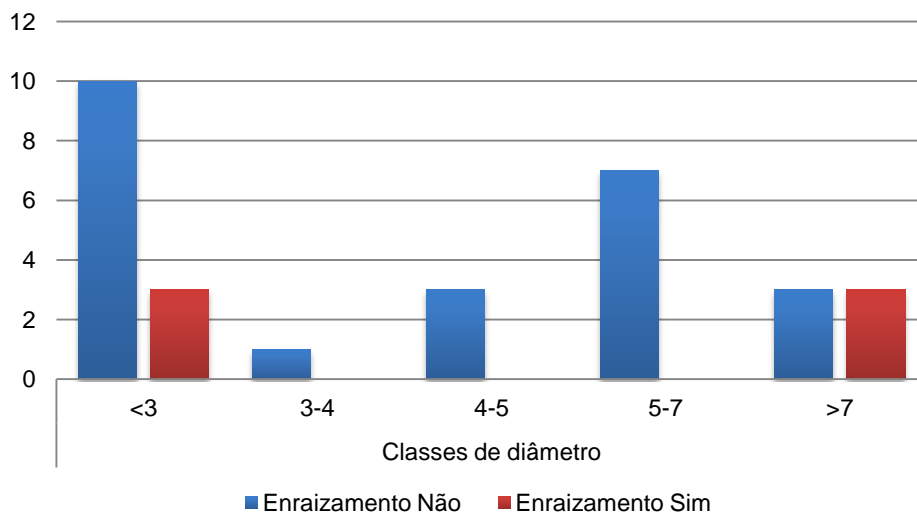
Para a *D. viscosa*, o enraizamento é elevado em praticamente todas as classes de diâmetro (Figura 26), o que pode explicar, em parte, o valor de significância (0,779) tão elevado. É, no entanto, de assinalar uma crescente percentagem de enraizamento no sentido das estacas de maior diâmetro.

**Figura 26 - Gráfico do enraizamento de *Dittrichia viscosa* por classes de diâmetro**



O enraizamento por classes de diâmetro da *M. communis* ocorre em classes diametralmente opostas, como demonstra o gráfico da figura 27. As únicas classes com estacas enraizadas desta espécie foram as da classe menor que 3 mm, bem como as da classe maior que 7 mm. É, no entanto, esta última classe que apresenta o melhor resultado, com 50% das estacas com produção de raízes.

**Figura 27 - Gráfico do enraizamento de *Myrtus communis* por classes de diâmetro**



Da *P. angustifolia*, apenas uma estaca enraizou com sucesso. Essa estaca apresentava um diâmetro superior a 7 mm.

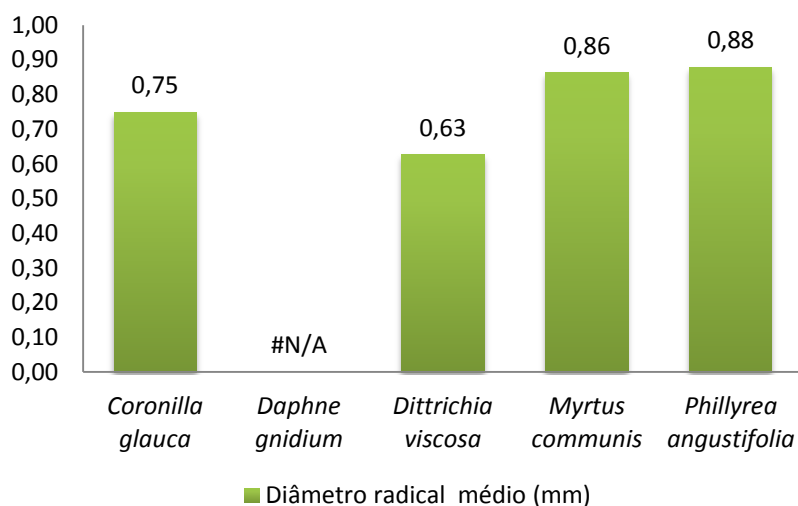
Importa referir que à excepção da *D. viscosa*, o número de exemplares enraizados (Tabela 5) é igual ao número de observações para os resultados que se seguem. Das 34 estacas enraizadas de *D. viscosa*, 5 destas foram utilizadas para outro fim, não publicado neste trabalho, restando assim 29 estacas desta espécie para os restantes resultados.

Os resultados de enraizamento obrigaram a que as ANOVAs se tenham realizado considerando apenas 3 das 5 espécies inicialmente previstas, para se conseguirem realizar análises *post-hoc*. Foram elas a *C. glauca*, a *D. viscosa* e a *M. communis*.

#### 4.1.2. Diâmetro radical médio

Os resultados observados no gráfico da figura 28, revelam à partida, alguma semelhança entre a *M. communis* e a *P. angustifolia* mas não é demais relembrar que, para esta última, apenas conseguimos gerar um exemplar com raiz. Entre a *M. communis* e as outras duas espécies enraizadas, *C. glauca* e *D. viscosa*, verificam-se diferenças na ordem das décimas de milímetro, sendo a *M. communis* a que apresenta o maior valor e a *D. viscosa* o menor valor.

Figura 28 - Gráfico da média do diâmetro radical médio por espécie

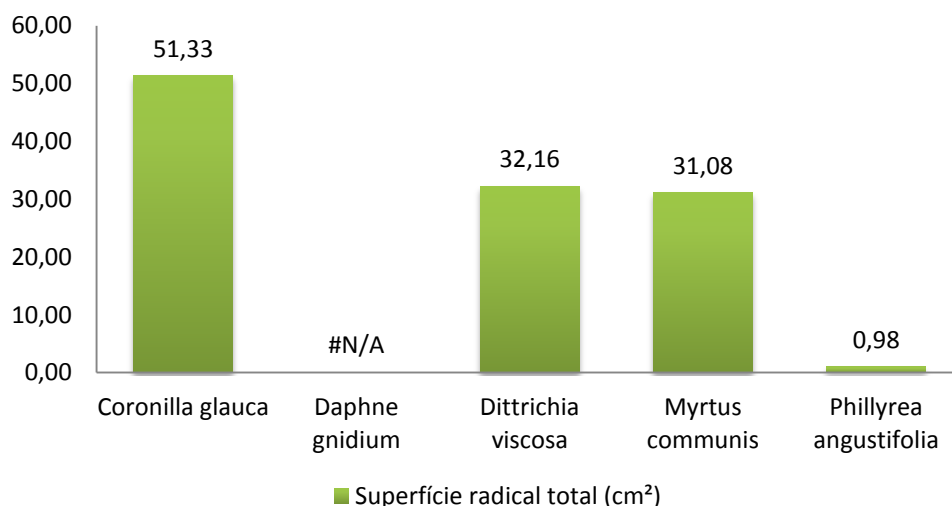


As diferenças supra mencionadas são confirmadas na análise de variância, onde foi obtido um nível de significância que nos permite afirmar que existem diferenças estatisticamente significativas entre as três espécies,  $F(2,35) = 6,75$ ,  $p < 0,01$ . Os resultados *post-hoc* do teste HSD de Tukey detectaram diferenças estatisticamente significativas entre a *D. viscosa* e a *C. glauca* ( $p = 0,03$ ) e entre a *D. viscosa* e a *M. communis* ( $p < 0,01$ ). O mesmo não poderá ser dito em relação ao efeito das classes de diâmetro das estacas, já que não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas,  $F(4,35) = 0,29$ ,  $p = 0,88$ . Desta ANOVA resultou ainda que a interação entre *espécie* e *classe de diâmetro* é uma interação não significativa,  $F(1,35) = 0,22$ ,  $p = 0,80$ .

#### 4.1.3. Superfície radical total

Os dados obtidos (Figura 29) foram semelhantes para a *D. viscosa* e *M. communis*, 32,16 cm<sup>2</sup> e 31,08 cm<sup>2</sup> respectivamente, mas de 51,33 cm<sup>2</sup> para a *C. glauca*. Apesar destas diferenças de valores a ANOVA não encontrou diferenças estatisticamente significativas entre espécies,  $F(2,35) = 0,63$ ,  $p = 0,54$ , nem entre classes de diâmetro,  $F(4,35) = 0,60$ ,  $p = 0,66$ . Também não é significativa a interação entre *espécie* e *classe de diâmetro*,  $F(1,35) = 0,09$ ,  $p = 0,91$ .

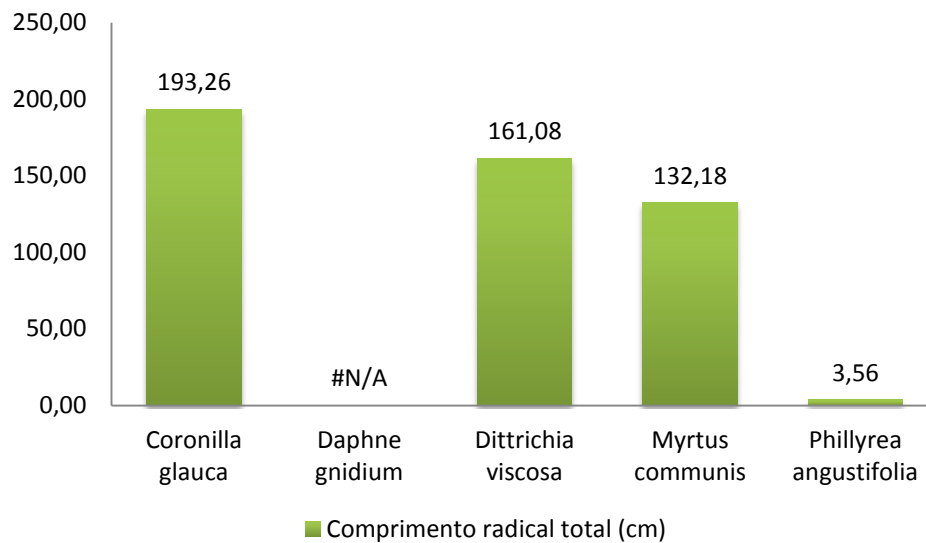
Figura 29 - Gráfico da média da superfície radical por espécie



#### 4.1.4. Comprimento radical total

Como fica demonstrado no gráfico da figura 30, a *C. glauca* foi a que conseguiu atingir um maior valor de *comprimento radical total* com 193 cm, seguida pela *D. viscosa* e pela *M. communis* com 161 cm e 132 cm, respectivamente.

**Figura 30 - Gráfico da média do comprimento radical total por espécie**

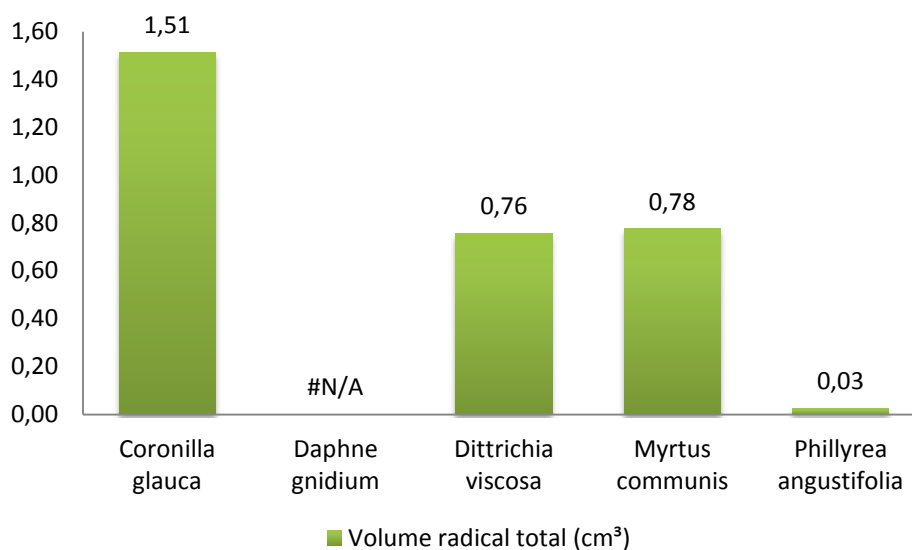


A análise de variâncias não detectou diferenças estatisticamente significativas, quer entre espécies,  $F(2,35) = 1,06$ ,  $p = 0,36$ , quer entre classes de diâmetro  $F(4,35) = 0,62$ ,  $p = 0,65$ . A interação entre espécie e classe de diâmetro também não é significativa,  $F(1,35) = 0,09$ ,  $p = 0,92$ .

#### **4.1.5. Volume radical total**

Neste parâmetro destacou-se a *Coronilla glauca* com um valor próximo do dobro dos valores atingidos quer pela *Dittrichia viscosa* quer pela *Myrtus communis* (Figura 31). Apesar disso, a análise de variâncias não encontrou diferenças estatisticamente significativas na interação espécie com classe de diâmetro,  $F(1,35) = 0,11$ ,  $p = 0,90$ , tendo sido obtido o mesmo resultado entre espécies,  $F(2,35) = 0,38$ ,  $p = 0,69$ , e entre classes de diâmetro,  $F(4,35) = 0,55$ ,  $p = 0,70$ .

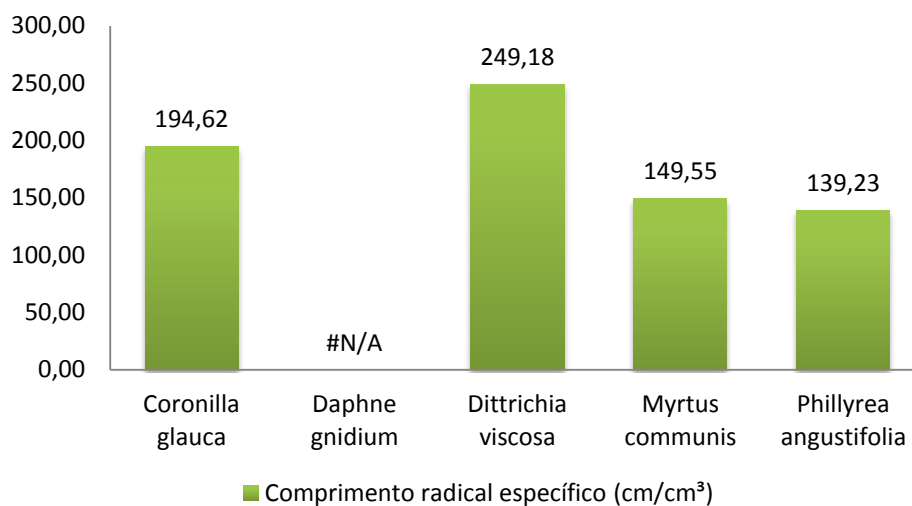
**Figura 31 - Gráfico da média do volume radical total por espécie**



#### 4.1.6. Comprimento radical específico

Para este parâmetro foi a *D. viscosa* que atingiu o maior valor de entre as espécies ensaiadas com o valor de 249 cm/cm³. A *C. glauca* obteve 195 cm/cm³ e a *M. communis* 150 cm/cm³ (Figura 32).

**Figura 32 - Gráfico da média do comprimento radical específico por espécie**



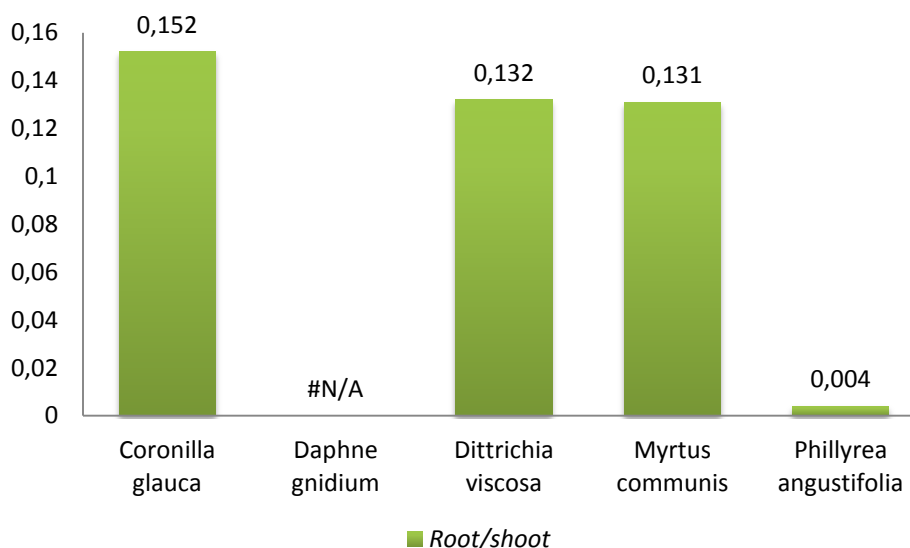
Os resultados da ANOVA não revelaram diferenças estatisticamente significativas na interação entre as variáveis independentes *espécie* e *classe de diâmetro*,  $F(1,35) = 0,23$ ,  $p = 0,79$ , nem entre classes de diâmetro,  $F(4,35) = 0,26$ ,  $p = 0,90$ . Relativamente à variável *espécies*, já foram detectadas diferenças estatisticamente significativas entre estas,  $F(2,35) = 4,10$ ,  $p = 0,03$ . O teste HSD de Tukey mostra que apenas existem diferenças estatisticamente significativas entre a *D. viscosa* e a *M. communis* ( $p = 0,01$ ).

#### 4.1.7. Root/shoot

Nos resultados do gráfico da figura 33, destaca-se mais uma vez pela positiva a *C. glauca* por ser a espécie que atingiu o maior valor na relação raiz-parte aérea. Seguem-se a *D. viscosa* e a *M. communis*, mas com valores bastante idênticos de 0,132 e 0,131 respectivamente.

A ANOVA não detectou diferenças estatisticamente significativas para a interação entre *espécie* e *classe de diâmetro*,  $F(1,35) = 0,23$ ,  $p = 0,79$ , nem para as variáveis *espécie* ou *classes de diâmetro* com os resultados respectivos de  $F(2,35) = 0,39$ ,  $p = 0,68$  e  $F(4,35) = 0,89$ ,  $p = 0,93$ .

Figura 33 - Gráfico da média da relação *root/shoot* por espécie





## **4.2. Ensaio de *Daphne gnidium* L. em diferentes substratos**

### **4.2.1. Capacidade de enraizamento**

Neste segundo ensaio, apesar da mudança da época de estacaria e da utilização de dois outros substratos, os resultados do enraizamento de *Daphne gnidium* foram iguais aos obtidos no primeiro ensaio, ou seja, 0%.

## 5. Discussão e Conclusões

### 5.1. Capacidade de enraizamento

A capacidade de enraizamento de uma estaca por via vegetativa é um importante indicador da viabilidade da sua produção. Segundo Hartmann e Kester (1983), 50% é o valor limite de viabilidade económica de produção de uma planta em viveiro. Apesar da viabilidade económica ser também um importante requisito em intervenções de EN, essa viabilidade deve aplicar-se ao cúmulo da intervenção e não apenas à multiplicação de plantas. Poderemos assim considerar indicadas para intervenções em EN, espécies que não atinjam o valor de 50% de enraizamento mas que, ainda assim, contribuam com outros atributos para o sucesso da intervenção. Por outro lado, por muito elevada que seja a viabilidade da obtenção de uma espécie, o seu aparelho radical poderá não ser adequado à estabilização de taludes, como refere Cabral (cit. por Lecoq, 2008).

Além da aparente variabilidade de resultados obtidos quanto à percentagem de enraizamento de cada espécie, existe uma associação estatisticamente significativa entre as espécies estudadas e a sua capacidade de enraizamento. Podemos, assim, reforçar a teoria de que a escolha das espécies a utilizar em EN, por via vegetativa, é da maior importância.

A percentagem de 0% de enraizamento da *D. gnidium*, apesar de esperada no levantamento de ambos os ensaios, pareceu muito mais promissora um mês após a instalação, altura em que mais de metade das estacas desta espécie apresentava múltiplos rebentos de jovens folhas (Figura 34). Passadas 2 semanas, essas folhas já tinham secado na sua totalidade e, aquando do levantamento do ensaio, reparámos que a parte das estacas que se encontrava enterrada já se apresentava em decomposição.



**Figura 34 - Rebentos de folhas nas estacas de *D. gnidium***

O não enraizamento desta espécie deixou sem resposta dois dos objectivos secundários: determinar se o substrato é um factor limitante no sucesso da propagação vegetativa e testar se a época da estacaria influênciava a taxa de sucesso da reprodução por via vegetativa.

A descrição do sistema radical desta espécie feita por Silva (2002), com uma elevada *root/shoot* e longas raízes perfurantes, indicia que a *D. gnidium* deverá ser adequada para aplicação em EN. No entanto, com estes resultados, podemos concluir que a propagação por via vegetativa da *D. gnidium* é de elevada dificuldade. O mesmo podemos afirmar em relação à *P. angustifolia*, que obteve uma percentagem de enraizamento de apenas 3%. Não recomendamos, portanto, a utilização destas duas espécies quando utilizada a propagação por via vegetativa, até que se consiga compreender como obter maiores percentagens de enraizamento das suas estacas.

A elevada percentagem de enraizamento da *D. viscosa* é uma boa indicação de que esta espécie será bastante fácil de propagar vegetativamente facto que, aliado à ampla distribuição em Portugal continental, qualifica esta espécie como de grande interesse para a EN. Para isso também contribui o seu carácter pioneiro, reconhecido por Brullo e Marco (2000), em conjunto com a sua capacidade de habitar solos bastante pedregosos e desprovidos de matéria orgânica, capacidades que explicam a sua aplicação em projectos de recuperação de pedreiras (Kabas *et al.*, 2010). As características radicais desta espécie

são também assinaláveis. Das três espécies mais enraizadas, a *Dittrichia viscosa* foi a que obteve os resultados mais favoráveis para uma correcta estabilização do solo no parâmetro diâmetro radical médio e comprimento radical específico. Por todos estes motivos, podemos considerar esta espécie como uma espécie apta para intervenções de EN.

Os resultados da *C. glauca* e da *M. communis* ficaram próximos das percentagens de enraizamento da bibliografia consultada. Para que fossem comparáveis os resultados obtidos com os de Costa *et al.* (2000), uma vez que estes autores dividiram as estacas quando à sua dureza e quanto à utilização, ou não, de hormonas de enraizamento, calculámos a média das percentagens de enraizamento por espécie para os valores das estacas sem utilização de hormonas de enraizamento. Deste cálculo resultaram os valores de 28% para a *C. glauca* e de 21% para a *M. communis*, próximos dos 30% para a *C. glauca* e 20% *M. communis* obtidos neste trabalho.

Admitimos que ao realizar estes ensaios com a aplicação de hormonas de enraizamento os resultados das percentagens poderiam ser mais elevados tal como aconteceu, de uma forma geral, para resultados obtidos por Costa *et al.* (2000) no caso da *C. glauca* e da *M. communis*. Contudo, e como já referido no ponto terceiro, Materiais e Métodos, os resultados não seriam tão relevantes para a procura de espécies indicadas para técnicas de EN, em que, normalmente, as estacas são colocadas no local de intervenção ainda sem qualquer raiz e sem a aplicação de hormonas de enraizamento (Schiechtl, 1973).

Ao revelar que as diferentes classes de diâmetro das estacas instaladas não resultaram em associações estatisticamente significativas para a variável *enraizamento*, está-se a rejeitar a hipótese de, para estas espécies, a idade das estacas tem influência na percentagem de enraizamento. No entanto, analisando os dados médios de enraizamento por classe de diâmetro, podemos retirar diferentes conclusões para as espécies estudadas.

A tendência da *C. glauca* para enraizar com melhores resultados nas classes de diâmetro de estaca mais pequenas parece ir de encontro aos resultados de Hartmann e Kester, (1983) e Pignatti e Crobeddu (2005) que definem as estacas mais jovens como as que têm maiores percentagens de enraizamento. Por sua vez, os resultados da *D. viscosa* indicam uma tendência contrária, referida por Schiechtl (1973), em que as maiores percentagens de enraizamento registaram-se para as estacas mais velhas, neste caso as classes de maior diâmetro. Embora pouco conclusivos, os resultados da *Myrtus communis* são interessantes na medida em que as únicas duas classes que enraizaram foram as classes de diâmetro mínimo e máximo. Também pouco conclusivos mas algo surpreendentes, foram os resultados da *Phillyrea angustifolia* de apenas uma estaca enraizada. Surpreendentes na medida em que, à data do levantamento do ensaio, eram 9 os exemplares que

apresentavam folhas novas e ainda túrgidas. Esta observação poderá indicar que esta espécie necessita de um maior período de instalação até à obtenção de novas raízes. Há a referir que o exemplar de *P. angustifolia* que enraizou correctamente pertencia à classe de maior diâmetro. Todos estes resultados parecem indicar que a associação entre idade da estaca e sucesso do enraizamento deverá ser variável consoante a espécie.

## 5.2. Características biotécnicas

Além da elevada percentagem de enraizamento, as características radicais da *D. viscosa* são também assinaláveis. Das três espécies mais enraizadas, esta foi a que obteve um valor mais reduzido para o parâmetro *diâmetro radical médio*. Se as raízes de menor diâmetro contribuem para uma maior agregação do solo e têm uma maior resistência ao arranque e ao corte (Abe & Ziemer, 1991; Gray & Sotir, 1996), podemos deduzir que, para este parâmetro a *D. viscosa* é a espécie que apresenta um maior potencial de agregação do solo. Pela análise estatística, podemos ainda afirmar que a espessura média das raízes adventícias é um indicador que, mesmo numa fase de desenvolvimento inicial, já apresenta diferenças interespecíficas.

Segundo Stokes *et al.* (2009), as espécies com raízes mais finas atingem valores mais elevados de comprimento específico, pelo que neste parâmetro, a *D. viscosa* foi também a espécie que apresentou resultados que indicam um maior potencial de agregação do solo. Como esperado, comparando o gráfico do *diâmetro radical médio* (Figura 28) com o do *comprimento radical específico* (Figura 32), inverteu-se a ordem de valores das espécies de um indicador radical para o outro. Podemos confirmar então que as espécies com um maior *comprimento radical específico* são as que melhor contribuem para a estabilização do solo.

A *superfície radical total* é um indicador que não terá um impacto directo na fixação do solo mas antes por via indirecta. Quanto maior for a superfície radical de uma planta, maior será a absorção potencial de água e nutrientes (Himmelbauer *et al.*, 2004). Neste indicador destacou-se positivamente a *C. glauca*, ao atingir o maior valor de *superfície radical total*, mais-valia esta que poderá ser bastante útil no desenvolvimento inicial das raízes adventícias. Este desenvolvimento é da maior importância para que, no início da estação seca, as raízes apresentem o maior desenvolvimento possível, por forma a conseguirem captar a água que, nessa estação, se poderá encontrar a maiores profundidades.

O *comprimento radical total* é uma medida que representa o alcance do poder de fixação ao solo de uma determinada planta. O aumento do comprimento do aparelho radical contribui

para uma maior resistência ao arranque da planta, até um determinado comprimento crítico, a partir do qual as raízes quebram em vez de deslizarem no solo (Stokes *et al.*, 2009). O valor mais elevado atingido pela leguminosa *C. glauca*, poderá ser explicado pela simbiose entre as raízes da planta e *rhizobium* (Figura 35) que conseguirão assim um maior desenvolvimento radical para o mesmo esforço despendido que as outras espécies, além de aumentarem o teor de azoto utilizável no terreno, disponibilizando-o para outras plantas. Também por ser a espécie que atingiu o valor mais elevado, podemos afirmar que, relativamente a este parâmetro, a *C. glauca* é a espécie que terá um maior poder de estabilização do solo na sua fase inicial de desenvolvimento.



**Figura 35 - Pormenor dos nódulos de *rhizobium* assinalados a vermelho nas raízes da *C. glauca***

À semelhança da *superfície radical*, o *volume radical total* é outra variável que por si só não contribui para uma avaliação das faculdades de uma determinada planta para a estabilização do solo. É, antes, uma importante variável indirecta, na medida em que contribui para o cálculo de outras variáveis de maior importância como o *comprimento radical específico* ou a proporção *root/shoot*.

Sendo a parte radical a responsável pela fixação da planta ao solo e da agregação deste, as espécies mais aptas para intervenções de EN serão as que apresentem maiores valores de relação *root/shoot*. Este parâmetro ganha ainda mais importância para plantas mediterrânicas onde o desenvolvimento precoce do aparelho radical pode ser determinante para a sobrevivência à primeira estação seca (Silva, 2002). Para este parâmetro podemos, mais uma vez, definir a *C. glauca* como a espécie que apresenta, das três mais enraizadas neste trabalho, um maior potencial de estabilização do solo.

Apesar dos resultados indicarem que as características biotécnicas da *M. communis* não são tão favoráveis como os resultados obtidos pelas outras espécies, o seu sistema radical contribui positivamente para a estabilização do solo.

Por conseguirem aliar boas características biotécnicas e capacidade de reprodução vegetativa, podemos concluir que a *Coronilla glauca*, a *Dittrichia viscosa* e a *Myrtus communis* são espécies indicadas para utilização em intervenções de EN.

Alerta-se, no entanto, que não estamos a defender a utilização exclusiva destas espécies. Elas deverão ser utilizadas em associação com outras, desde que respeitem o critério já referido da fitocenose local e as possíveis séries de sucessão ecológica. Deve, também, ser continuada a experimentação de espécies da flora portuguesa com o objectivo de recuperar áreas degradadas ou instáveis, direccionando-a sobretudo para espécies com amplas distribuições geográficas, adaptadas a zonas não adjacentes a linhas de água e para as quais a bibliografia ainda é escassa.

### **5.3. Considerações finais**

As implicações deste trabalho têm repercussões noutras áreas do conhecimento, não limitadas à EN e com particular interesse para disciplinas com intervenção em recuperação de habitats, estabilização de taludes e de margens de linhas de água. Enquanto dissertação de mestrado em arquitectura paisagista, este trabalho contribui para alargar o leque de opções de projecto com soluções de reduzidos impactes negativos em relação às técnicas de engenharia mais convencionais.

Conhecimentos como a capacidade de propagação vegetativa de uma espécie em conjunto com as técnicas experimentadas da EN são importantes mais-valias noutros campos de intervenção. Como já foi referido, a reprodução vegetativa tem inúmeras vantagens em relação à reprodução seminal, porém, não só podem existir casos em que a obtenção ou a instalação de estacas é pouco aconselhável. Assim, as disciplinas como a arquitectura paisagista e a EN, que promovem a utilização de materiais vivos, devem dominar qual o melhor método de propagação para cada espécie proposta. Este trabalho é também uma proposta de sistemática de avaliação do potencial de espécies vegetais para intervenções de EN.

As relações entre EN e arquitectura paisagista não se esgotam neste ponto. Não foi por acaso que a licenciatura em engenharia biofísica foi implementada em Portugal por arquitectos paisagistas, aliás, como já foi referido. Estas duas disciplinas têm actualmente

pontos em comum mas seria mais profícuo para ambas uma maior colaboração entre estas. Entre outros aspectos, a EN ganha com a experiência da arquitectura paisagista na sua sistemática de análise e de intervenção mais desenvolvida e na maior capacidade de representação gráfica de projecto. Por sua vez a arquitectura paisagista deve ser capaz de absorver aspectos mais desenvolvidos na EN. É o caso do maior domínio do material vegetal, mais especificamente em relação às características biotécnicas do material vegetal e sua propagação, bem como as técnicas desenvolvidas na estabilização do solo e restauro de habitats.

Com esta dissertação pretendeu-se também lançar a base para outros. Não só ficaram algumas hipóteses sem resposta mas também surgiram novas questões, dignas de serem melhor aprofundadas. Uma das características das espécies a escolher para futuros trabalhos poderá ser o valor estético da espécie. Se tem uma floração, aroma, textura foliar, entre outras, que possam ser um elemento diferenciador na intervenção, salvaguardando é claro as funções técnicas da planta. Outra característica com interesse mas que não foi ensaiada neste trabalho esta relacionada com a capacidade que as estacas têm de sobreviver à primeira estação seca.



## Referências Bibliográficas

ABE, Kazutoki & ZIEMER, Robert R. – **Effect of tree roots on shallow-seated landslides**. [Em linha] in RICE, Raymond M. [Coord. Téc.]: **Proceedings of the IUFRO Technical Session on Geomorphic Hazards in Managed Forests**. California: Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture, 1991 p.11-22 [Consult. 19 Jul. 2012]. Disponível em WWW:<[http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw\\_gtr130/psw\\_gtr130.pdf](http://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr130/psw_gtr130.pdf)>.

APENA – **Associação Portuguesa de Engenharia Natural: O que é a Engenharia Natural**. [Em linha] [Consult. 14 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.apena.pt/page.php?21>>.

ARCHER, N., Hess, T. & QUINTON, J. – **Below-ground relationships of soil texture, roots and hydraulic conductivity in two-phase mosaic vegetation in South-east Spain**. [Em linha] S.I. Elsevier Science , 2002 [Consult. 19 Jul. 2012]. Disponível em WWW:<[http://ag.arizona.edu/research/archer/reprints/Archer\\_etal\\_2002.pdf](http://ag.arizona.edu/research/archer/reprints/Archer_etal_2002.pdf)>.

BIFULCO, Carlo – **L'Ingegneria Naturalistica nel Parco Nazionale del Vesuvio**. San Sebastiano al Vesuvio: Parco Nazionale del Vesuvio, 2001.

BIFULCO, Carlo & REGO, Francisco Castro – **Seleção de espécies lenhosas da flora portuguesa adequadas às técnicas de engenharia natural: revisão do conhecimento sobre a sua capacidade de enraizamento**. [Consult. 13 Fev. 2012]. Artigo submetido e aceite para publicação.

BINGRE, P. [et al.] [Coord.s Cient.] **Guia de Campo – As árvores e os arbustos de Portugal continental**. in vol. IX de SANDE SILVA, J. [Coord. Ed.]: **Colecção Árvores e Florestas de Portugal**. Lisboa: Jornal Público/ Fundação Luso-Americana para o Desenvolvimento/ Liga para a Protecção da Natureza, 2007.

BRULLO, Salvatore & MARCO, Giovanni de – **Taxonomical revision of the genus *Dittrichia* (Asteraceae)**. in vol. 19, nº1-4, de **Portugaliae Acta Biologica** Lisboa: Publicação do Museu, Laboratório e Jardim Botânico da Universidade de Lisboa, 2000. ISBN 0874-9035. p. 341-354

CABRAL, Francisco C. cit por LECOQ, Nuno – **Vegetação em Espaço Urbano**. Lisboa, 2008. Sebenta da unidade curricular de Vegetação em Espaço Urbano.

CASTROVIEJO, Santiago [et. al.] – **Flora Iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares**. [Em linha] [Consult. 16 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.floraiberica.org/>>.

CORNELINI, Paolo & BIANCO, Pietro M. – **Progetto Botanico**. [Em linha] in **Analisi e progettazione botanica per gli interventi di mitigazione degli impatti delle infrastrutture lineari**. Roma: ISPRA, 2010. ISBN 978-88-448-0471-8 p. 29-47 [Consult. 13 Jul. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.isprambiente.gov.it/files/manuale65-2010/65.3-botanica.pdf>>.

COSTA, João [et. al.] – **Estudo de diversas espécies da flora autóctone mediterrânea com interesse ornamental**. [Em linha] DRAP Algarve, 2000 [Consult. 17 Jul. 2012]. Disponível em WWW:<[http://www.drapalg.min-agricultura.pt/downloads/projectos/InterregII\\_Flora\\_Autoctone/Brochura\\_Flora\\_Autoctone.pdf](http://www.drapalg.min-agricultura.pt/downloads/projectos/InterregII_Flora_Autoctone/Brochura_Flora_Autoctone.pdf)>.

FERNANDES, João P. & FREITAS, Aldo R. M. de – **Introdução à Engenharia Natural**. Lisboa: EPAL- Empresa Portuguesa das Águas Livres, S.A., 2011. ISBN 978-989-97459-5-7

FLORINETH, Florin – **Piante al Posto del Cemento: Manuale di Ingegneria Naturalistica e Verde Tecnico**. Milano: Il Verde Editoriale, 2007. ISBN 88-86569-26-2

FLORINETH, Florin & MOLON, Marco – **Dispensa di Ingegneria Naturalistica**. Vienna: Università BOKU di Vienna, 2004.

GALKOVSKYI, Taras [et. al.] – **GiA Roots Manual**. [Em linha] 2012. [Consult. 17 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<[http://www.rootnet.biology.gatech.edu/giaroots/download/recent/gia\\_roots\\_manual.pdf](http://www.rootnet.biology.gatech.edu/giaroots/download/recent/gia_roots_manual.pdf)>.

GRAY, D.H. & LEISER, A.T. cit. por RECONDES – **Conditions for Restoration and Mitigation of Desertified Areas Using Vegetation (RECONDES): Review of literature and present knowledge**. [Em linha] Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006. [Consult. 22 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<[http://www.lu.lv/materiali/biblioteka/es/pilnieteksti/vide/Conditions%20for%20Restoration%20and%20Mitigation%20of%20Desertified%20Areas%20Using%20Vegetation%20\(RECONDES\).pdf](http://www.lu.lv/materiali/biblioteka/es/pilnieteksti/vide/Conditions%20for%20Restoration%20and%20Mitigation%20of%20Desertified%20Areas%20Using%20Vegetation%20(RECONDES).pdf)>.

GRAY, Donald & SOTIR, Robin – **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: A practical guide for erosion control**. New York: Wiley-Interscience, 1996. ISBN 978-0471049784

HARTMANN, Hudson T. & KESTER, Dale E. – **Plant Propagation: Principles and Practices**. New Jersey: Prentice Hall, 1983. ISBN 0-13-681007-1

HIMMELBAUER, M. L., LOISKANDL, W. & KASTANEK, F. – **Estimating length, average diameter and surface area of roots using two different Image analyses systems**. in vol. 260, de **Plant and Soil** Países Baixos: Springer, 2004 ISSN 0032-079X p. 111-120

IPMA, Instituto Português do Mar e da Atmosfera – **Relatório de situação de seca meteorológica: 30 de Abril de 2012**. [Em linha] 2012. [Consult. 4 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.meteo.pt/bin/docs/tecnicos/Seca30ABR.pdf>>.

JOCKEL, Dirk M. – **Genus Daphne Cultivation: Plant & Care, Propagation, Pests & Diseases**. [Em linha] 2012. [Consult. 14 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.seidelbast.net/cultivation.html>>.

KABAS, Sebla [et al.] – **Reclamation and Landscape Design Suggestions for a Mine Tailing in Cartagena, SE Spain**. [Em linha] S.I. WSEAS Press, 2010 [Consult. 19 Jul. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2010/Faro/URES/URES-27.pdf>>.

OLIVEIRA, José Manuel Avelar Duarte Silva de – **Contribuições Geotécnicas para o Estudo do Problema da Erosão**. [Em linha] Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2006. [Consult. 18 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<

PIGNATTI, G. & CROBEDDU, S. – **Effects of rejuvenation on cutting propagation of Mediterranean shrub species**. [Em linha] Forest@, 2005. [Consult. 14 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<[http://www.sisef.it/forest@/pdf/Pignatti\\_308.pdf](http://www.sisef.it/forest@/pdf/Pignatti_308.pdf)>.

PIOTTO, Betty, NOI, Anna Di – **Propagazione per seme di alberi e arbusti della flora mediterranea**. [Em linha] Roma: Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 2001. [Consult. 15 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www3.corpoforestale.it/flex/cm/pages/ServeAttachment.php/L/IT/D/D.461aa63bea52488c926a/P/BLOB%3AID%3D1718>>.

POESEN, J. & BAETS, S. De – **The Effects of Plant Root Characteristics on Soil Erosion**. [Em linha] in **Conditions for Restoration and Mitigation of Desertified Areas Using Vegetation (RECONDES): Review of literature and present knowledge**. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007 [Consult. 23 Jul. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.lu.lv/materiali/biblioteka/es/pilnieteksti/vide/Conditions%20for%20Restora>

[tion%20and%20Mitigation%20of%20Desertified%20Areas%20Using%20Vegetation%20\(RECONDER\).pdf>.](#) p. 123-134

SCHIECHTL, Hugo M. – **Bioingegneria forestale: basi - materiali da costruzione vivi - metodi**. Feltre: Edizioni Castaldi, 1973.

SILVA, Joaquim M. Sande – **Estrutura dos Sistemas Radicais e Dinâmica da Água no Solo numa Comunidade Arbustiva da Tapada Nacional de Mafra**. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2002. Tese de doutoramento em engenharia florestal.

SPB, Sociedade Portuguesa de Botânica – **Flora-On Flora de Portugal interactiva**. [Em linha] 2012. [Consult. 16 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<<http://www.flora-on.pt/>>.

STOKES, Alexia [et al.] – **Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides**. in vol. 324, de **Plant and Soil** Países Baixos: Springer, 2009 ISSN: 0032-079X p. 1-30

TENGBEH, G.T. cit. por RECONDES – **Conditions for Restoration and Mitigation of Desertified Areas Using Vegetation (RECONDES): Review of literature and present knowledge**. [Em linha] Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities, 2006. [Consult. 22 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<[http://www.lu.lv/materiali/biblioteka/es/pilnieteksti/vide/Conditions%20for%20Restoration%20and%20Mitigation%20of%20Desertified%20Areas%20Using%20Vegetation%20\(RECONDES\).pdf](http://www.lu.lv/materiali/biblioteka/es/pilnieteksti/vide/Conditions%20for%20Restoration%20and%20Mitigation%20of%20Desertified%20Areas%20Using%20Vegetation%20(RECONDES).pdf)>.

UÉ, Universidade de Évora – **Acreditação do Curso de Engenharia Biofísica: dossier de candidatura**. [Em linha] Évora, 2003 [Consult. 14 Ago. 2012]. Disponível em WWW:<[http://www.gi.uevora.pt/dossier\\_acre\\_biof.pdf](http://www.gi.uevora.pt/dossier_acre_biof.pdf)>.

UTAD, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro – **Flora digital de Portugal**. [Em linha] [Consult. 16 Fev. 2012]. Disponível em WWW:<[http://aguiar.hvr.utad.pt/pt/herbario/cons\\_reg.asp](http://aguiar.hvr.utad.pt/pt/herbario/cons_reg.asp)>.

ZEH, Helgard - **Engenharia Natural: Manual Técnico**. Zürich: EFIB,2007. ISBN 978-3-7281-3055-6

## Anexos

### Anexo 1 - Excerto do ficheiro *configuration.xml* do GiA Roots

Este excerto demonstra os parâmetros utilizados no programa para a análise das imagens das raízes.

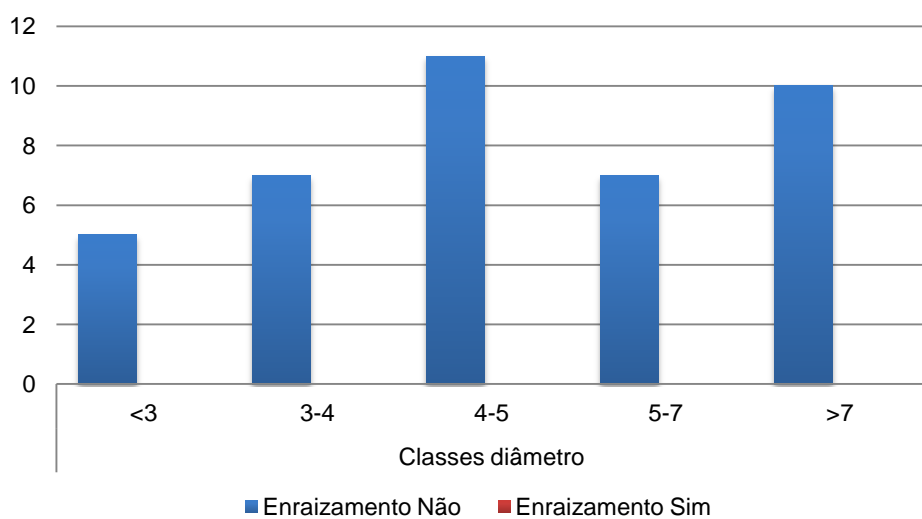
```
<algorithm id="thresholding_adaptive">
  <property name="adaptive_method" value="CV_ADAPTIVE_THRESH_MEAN_C" />
  <property name="block_size" value="176" />
  <property name="max_component_size_to_ignore" value="100" />
  <property name="subtract_constant" value="-1.16825" />
  <property name="threshold_type" value="CV_THRESH_BINARY" />
</algorithm>
<algorithm id="thresholding_double_adaptive">
  <property name="block_size" value="255" />
  <property name="drop_value" value="1" />
  <property name="max_component_size_to_ignore" value="200" />
</algorithm>
<algorithm id="thresholding_global">
  <property name="max_component_size_to_ignore" value="45" />
  <property name="threshold" value="1" />
  <property name="threshold_type" value="CV_THRESH_BINARY" />
</algorithm>
<algorithm id="transform_manual_cropping">
  <property name="cropping_height" value="0" />
  <property name="cropping_left" value="0" />
  <property name="cropping_top" value="0" />
  <property name="cropping_width" value="0" />
</algorithm>
<algorithm id="transform_rotation">
  <property name="flip" value="none" />
  <property name="rotate" value="0" />
</algorithm>
<algorithm id="transform_setscale">
  <property name="metric_scale" value="118" />
</algorithm>
```

## Anexo 2 – Tabela dos testes de normalidade de Shapiro-Wilk

Tests of Normality

		Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Residual for LG10_Dia_medio		,084	44	,200 <sup>*</sup>	,978	44	,537
Residual for LG10_comp_especifico		,105	44	,200 <sup>*</sup>	,983	44	,737
Residual for LG10_Area_sup		,127	44	,073	,966	44	,209
Residual for LG10_Comp_total		,126	44	,076	,972	44	,348
Residual for LG10_Vol_total		,124	44	,085	,957	44	,100
Residual for SQRT_root_shoot		,093	44	,200 <sup>*</sup>	,992	44	,987

## Anexo 3 – Gráfico do enraizamento de *Daphne gnidium* por classes de diâmetro



**Anexo 4 – Gráfico do enraizamento de *Phillyrea angustifolia* por classes de diâmetro**

